

Государственное образовательное учреждение  
Луганской Народной Республики  
"Луганский национальный аграрный университет "

*На правах рукописи*

Сороканич Станислав Васильевич



УДК 691.32

**ТЯЖЕЛЫЕ БЕТОНЫ  
ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ  
С МОДИФИКАТОРОМ НА ОСНОВЕ СТЕКЛЯННОГО ПОРОШКА**

05.23.05 – строительные материалы и изделия

**Диссертация**  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник,  
Назарова Антонина Васильевна



Идентичность всех экземпляров  
диссертации заверяю:  
Ученый секретарь  
диссертационного совета Д 01.006.02



Радионов Т.В.

Макеевка – 2019 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр
<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>5</b>
<b>1 РАЗДЕЛ 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ.....</b>	<b>13</b>
1.1 Область применения тяжелых бетонов в зависимости от классов сред эксплуатации, требования к составляющим бетона и бетонам.....	13
1.2 Современные представления о коррозионных процессах в бетонах .....	19
1.3 Существующие способы повышения коррозионной стойкости бетонов .....	24
1.4 Теоретическое обоснование состава комплексного органоминерального модификатора.....	28
1.4.1 Минеральные добавки, влияющие на коррозионную стойкость бетонов.....	28
1.4.2 Обоснование выбора суперпластификатора.....	34
1.4.3 Органоминеральные модификаторы на основе твердо-бытовых и промышленных отходов. Научная гипотеза исследования....	39
Выводы по разделу 1 .....	44
<b>2 РАЗДЕЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ .....</b>	<b>45</b>
2.1 Характеристики использованных материалов.....	45
2.2 Методы экспериментальных исследований .....	48
Выводы по разделу 2 .....	55
<b>3 РАЗДЕЛ 3. ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО МОДИФИКАТОРА НА ПРОЦЕССЫ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА.....</b>	<b>56</b>

3.1	Влияние органоминерального модификатора на текучесть цементного теста .....	56
3.2	Прочностные свойства цементного камня с органоминеральным модификатором .....	61
3.3	Влияние активатора в составе органоминерального модификатора на прочность цементного камня .....	65
3.4	Влияние органоминерального модификатора на процессы гидратации цемента .....	67
	Выводы по разделу 3 .....	80
4	<b>РАЗДЕЛ 4. СВОЙСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И БЕТОНОВ С ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМ МОДИФИКАТОРОМ</b>	82
4.1	Технологические свойства модифицированных бетонных смесей.....	82
4.2	Оптимизация состава бетона по критериям прочности при сжатии и подвижности бетонной смеси.....	84
4.3	Коррозионная стойкость модифицированного бетона.....	94
4.4	Эксплуатационные свойства тяжелых бетонов с органоминеральным модификатором.....	102
4.4.1	Водонепроницаемость.....	102
4.4.2	Морозостойкость бетона.....	104
4.4.3	Относительные деформации усадки.....	105
	Выводы по разделу 4 .....	107
5	<b>РАЗДЕЛ 5. ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ.....</b>	108
5.1	Технологический регламент изготовления тяжелых бетонов.....	108
5.2	Экономическая эффективность.....	130
	Выводы по разделу 5 .....	134

<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ .....</b>	<b>135</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....</b>	<b>138</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. ....</b>	<b>153</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ....</b>	<b>156</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. ....</b>	<b>157</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ....</b>	<b>158</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Долговечность зданий и сооружений Донбасса имеет огромное народнохозяйственное значение. Одним из важнейших факторов, влияющих на долговечность, а как следствие и надежность зданий и сооружений, это воздействие на них окружающей среды, которая в ряде случаев оказывается агрессивной по отношению к материалам, применяемым при их строительстве. Коррозия всех видов бетонных и железобетонных конструкций наносит значительный ущерб экономике региона, и борьба с ней требует больших как материальных, так и технических затрат. Но, несмотря на это, в настоящее время проблеме коррозии бетонов, как в регионе, так и за рубежом не уделяется должное внимание. Большое количество вопросов теории коррозионных процессов, протекающих в композиционных материалах на основе портландцемента, и практики повышения долговечности конструкций, зданий и сооружений не полностью проработаны.

Проблема обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций, которые являются технически ответственными сооружениями, возникла еще в прошлом веке, и со временем в связи с огромными масштабами использования этих строительных материалов острота и значимость этого вопроса только возрастала.

Увеличение интенсивности исследований по изучению стойкости строительных материалов в агрессивных средах объясняется прежде всего экономическими причинами. Так, в СССР в 80-х годах ущерб от коррозии строительных конструкций составлял ежегодно более 4, а к 1990 году достиг - 6 млрд. рублей. В настоящее время ежегодный ущерб от коррозии только в Российской Федерации превышает 25 млрд. рублей. В развитых индустриальных странах экономический ущерб достигает 4-5% от валового национального дохода.

Получение современных модифицированных бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами (коррозионная стойкость, водонепроницаемость, морозостойкость) на рядовых цементах является приоритетным направлением

развития современной технологии бетона. Учитывая накопленный опыт, следует отметить, что решение проблемы обеспечения долговечности бетона возможно только при целенаправленном и контролируемом управлении процессами гидратации и структурообразования вяжущей системы [75].

Одним из способов модификации бетона является применение при производстве бетонных смесей и бетонов комплексных органоминеральных модификаторов, в том числе на основе бытовых и техногенных отходов промышленности, в частности стеклобоя.

В настоящее время на территории Донбасса накоплено порядка 3,5 млрд. тонн промышленных отходов, из которых стеклобой составляет около 7% - 0,2 млрд. тонн, что обуславливает колоссальную нагрузку на экологическую ситуацию в регионе [33].

### **Актуальность темы**

Значение коррозионной стойкости цементных бетонов для народного хозяйства Донбасса существенно. Бетонные и железобетонные конструктивные элементы опор мостов, очистных и гидротехнических сооружений, канализационных систем, подземных частей зданий и сооружений подвержены агрессии внешней среды (переменному водонасыщению и замораживанию, воздействию агрессивных агентов из почвы и подземных вод). Один из способов повышения коррозионной стойкости тяжелых бетонов, модификация его состава специальными минеральными добавками, влияя при этом на формирование микроструктуры бетона и его свойства. Требуемые эксплуатационные свойства композиционных материалов на основе портландцемента можно обеспечить применением комплексов модификаторов, включающих, как правило, эффективные разжижители, модификаторы вязкости, активные минеральные добавки, ускорители твердения. При этом, применение таких добавок, как поликарбоксилатные суперпластификаторы, микрокремнезем, метакраин и др. приводит к значительному повышению стоимости современных модифицированных бетонов в сравнении с обычными. В связи с этим разработка состава органоминерального модификатора (далее по тексту ОММ) на основе

твердых бытовых отходов и отходов промышленности – стеклянного порошка (далее по тексту МС), доступного и недорогого суперпластификатора на основе полиметиленнафталинсульфоната (далее по тексту СП-1) и активатора химической реакции в системе "портландцемент – стеклянный порошок (МС)" сульфата натрия (далее по тексту А), обеспечит получение бетонов с повышенными показателями коррозионной стойкости при снижении себестоимости, что позволит экономить природные ресурсы и улучшить экологическую обстановку в регионе.

### **Степень разработанности темы исследования**

Теоретической основой для выполнения исследований в области коррозионной стойкости и модификации бетонов являются работы: Ю.М. Баженова [7-10], Ю.Г. Барабанщикова [55, 108], Л.И. Дворкина [29], В.И. Калашникова [38, 39], С.С. Каприелова [40-42, 125], Д.Н. Коротких [18, 19], В.М. Москвина [55-57], Г.В. Несветаева [60-63], Е.М. Чернышева [94], А.В. Шейнфельд [97], Н.Н. Brouwers [109], М. Collepardi [112-115], S. Hanehara [123], и др. В ранее выполненных исследованиях рассмотрены закономерности формирования структуры и свойств модифицированных бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами с добавкой органоминеральных модификаторов на основе отходов промышленности. В исследованиях Б.В. Гусева [25-28], А.А. Плугина [69, 71], А.С. Файвусовича [88, 89], В.Л. Чернявского [95] и др. рассмотрены закономерности коррозионного разрушения и повышения долговечности цементных бетонов. В то же время требуются дальнейшие исследования по разработке составов органоминеральных модификаторов, исключающих такие недостатки, как совместимость добавок с цементами, низкая коррозионная стойкости бетона в агрессивных средах. Одной из важных задач является снижение стоимости модификаторов и бетонов с их применением за счет использования отходов.

**Целью исследования** является теоретическое и экспериментальное обоснование получения тяжелых бетонов повышенной коррозионной стойкости на основе установления закономерностей влияния состава ОММ (минеральная

добавка, суперпластификатор, активатор) на структурообразование и свойства бетонной смеси и бетона.

**Задачи исследования:**

- выполнить анализ существующих представлений о коррозионных процессах, происходящих в тяжелых бетонах и обосновать состав органоминерального модификатора;
- исследовать влияние ОММ на технологические свойства цементного теста, прочность цементного камня, формирование состава продуктов гидратации;
- выполнить оптимизацию состава тяжелого бетона по критериям подвижности бетонной смеси и прочности бетона при сжатии;
- исследовать влияние ОММ на технологические свойства бетонных смесей, коррозионную стойкость и эксплуатационные свойства бетона;
- осуществить опытно-промышленное внедрение результатов исследования и оценить их экономическую эффективность.

**Объект исследования** – тяжелые бетоны повышенной коррозионной стойкости с органоминеральным модификатором на основе стеклянного порошка.

**Предмет исследования** – процессы и явления, определяющие закономерности формирования структуры и свойств тяжелых коррозионно-стойких бетонов, модифицированных органоминеральным модификатором на основе стеклянного порошка, полученного помолом отходов боя стекла.

**Методы исследований.** Экспериментальные исследования выполнены согласно стандартным и специальным методам с использованием аттестованных средств измерительной техники и испытательного оборудования. Состав продуктов гидратации вяжущего установлен по данным рентгенофазового анализа выполненного на установке "Дрон-4-07". Оптимизация состава бетонов выполнена с помощью математических моделей. Для обработки и анализа результатов экспериментов применены методы математической статистики.

**Научная новизна полученных результатов** заключается в следующем:

- впервые осуществлено теоретическое и экспериментальное обоснование получения тяжелых бетонов повышенной коррозионной стойкости при



использовании органоминерального модификатора, состоящего из: стеклянного порошка (МС), полученного помолом отходов стеклобоя, суперпластификатора СП-1 (на основе полиметиленнафталинсульфоната) и активатора химической реакции (портландцемент + МС) – сульфата натрия (А);

- установлено, что введение в смеси на основе цемента органоминерального модификатора (МС+СП-1+А) обеспечивает более высокую степень гидратации цемента, что подтверждается при рентгенофазовом анализе повышением интенсивности дифракционных отражений линий гидросиликатов кальция С–S–Н:  $d=0,382; 0,307; 0,247; 0,210; 0,187$  нм;

- зафиксировано влияние активизированного МС в составе ОММ на степень связывания оксида кальция СаО в портландит  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , а также в гидросиликаты кальция С–S–Н, которые уплотняя микроструктуру цементных композитов, ограничивают доступ воды к кристаллам портландита, тем самым предотвращая их растворение и вымывание, что способствует повышению прочности, плотности и коррозионной стойкости бетона;

- установлено, что органоминеральный модификатор на основе молотого стекла в комплексе с суперпластификатором и активатором в составе тяжелых бетонов на рядовых цементах повышает как раннюю, так и марочную прочность, коррозионную стойкость, плотность, водонепроницаемость и морозостойкость;

- определены области оптимальных составов бетонных смесей по содержанию органоминерального модификатора и со сниженным расходом цемента до 8,7%, обеспечивающих получение бетона с коэффициентом коррозионной стойкости 0,95 - 1,09 и пределом прочности при сжатии в проектном возрасте не менее 45 МПа.

### **Практическое значение полученных результатов:**

- разработан технологический регламент производства модифицированных цементных бетонных смесей для изготовления изделий и конструкций повышенной коррозионной стойкости и осуществлено внедрение результатов научных исследований строительной компанией ООО "Домостроительный

комбинат" при производстве монолитных железобетонных конструкций в объеме 18 м<sup>3</sup> при устройстве опор моста через р. Лугань;

- определена технико-экономическая эффективность применения разработанного органоминерального модификатора в составах тяжелого бетона повышенной коррозионной стойкости;

- результаты исследований внедрены в учебный процесс Луганского национального аграрного университета при подготовке бакалавров, магистров и специалистов по направлению 08.03.01, 08.04.01 и 08.05.01 "Строительство" и "Строительство уникальных зданий и сооружений" в курсах дисциплин: "Строительные материалы"; "Производственная база строительства".

#### **Положения, выносимые на защиту:**

- разработанные составы тяжелых бетонов повышенной коррозионной стойкости на рядовых цементах, модифицированных органоминеральным модификатором на основе стеклянного порошка;

- результаты экспериментальных исследований влияния органоминерального модификатора на свойства бетонных смесей и бетонов;

- экономическая эффективность применения модифицированного бетона;

- опытное внедрение основных результатов научных исследований.

**Степень достоверности результатов работы** обеспечивается проведением экспериментов на современном исследовательском оборудовании; применением стандартных и специально разработанных методик проведения экспериментальных исследований, обеспечивающих достаточную точность полученных результатов; статистической обработкой полученных данных с заданной вероятностью и необходимым количеством повторных испытаний с сопоставлением результатов с аналогичными результатами, полученными другими авторами; положительными результатами опытного внедрения составов и технологии изготовления тяжелых коррозионно-стойких бетонов.

**Личный вклад соискателя** состоит в выполнении экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, внедрении результатов исследований на производстве. Отдельные составляющие

теоретических и экспериментальных исследований, а также внедрение результатов диссертационной работы выполнены с соавторами опубликованных работ.

**Апробация диссертационной работы.** Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на заседаниях кафедры технологии и организации строительного производства Луганского НАУ (2008-2018 гг.) и ежегодных научно-технических конференциях строительного факультета ЛНАУ (2008-2018 гг.). Материалы диссертации докладывались также на: 47-м международном семинаре "Компьютерное материаловедение и прогрессивные технологии" (г. Одесса, ОГАСА, 21-22 апреля 2008 г.); I международном строительном форуме "Строительство и архитектура" в рамках форума XVI Международная конференция "Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий" (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 20-22 апреля 2017 г.); II международной научно-практической конференции "Возрождение, экология, ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации" (г. Луганск, ГОУ ВПО ЛНУ им. В.И. Даля, 28 сентября 2017 г.); научно-практической конференции с международным участием "Проблемы и перспективы современной науки" (межотраслевой) (г. Луганск, ГОУ ЛНР ЛНАУ, 11-15 декабря 2017 г.); II международном строительном форуме "Строительство и архитектура" в рамках форума XVII Международная конференция "Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий" (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 19-21 апреля 2018 г.); III международной научно-практической конференции "Возрождение, экология, ресурсосбережение и энергоэффективность инженерной инфраструктуры урбанизированных территорий Донбасса: традиции и инновации" (г. Луганск, ГОУ ВПО ЛНУ им. В.И. Даля, 25 октября 2018 г.); IV междисциплинарном научном форуме с международным участием "Новые материалы и перспективные технологии" (г. Москва, Российская Академия Наук, 27-30 ноября 2018г.); международной конференции "Научные чтения памяти доцента кафедры технологии

строительных конструкций, изделий и материалов Александра Дмитриевича Лазько" (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 27 декабря 2018 г.); III международном строительном форуме "Строительство и архитектура" в рамках форума XVIII Международная конференция "Здания и сооружения с применением новых материалов и технологий" (г. Макеевка, ГОУ ВПО «ДонНАСА», 18-19 апреля 2019 г.).

**Публикации.** Основные положения диссертации опубликованы автором самостоятельно и в соавторстве в 16 научных изданиях, в том числе 5 публикаций – в рецензируемых научных изданиях, 5 публикаций – по материалам научных конференций, 6 публикаций – в других изданиях.

Общий объем публикаций – 4,45 п.л., из которых – 2,52 п.л. принадлежат лично автору.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, выводов, списка использованных источников (148 наименований) и приложений. Общий объем работы составляет 160 страниц, в том числе 115 страниц основного текста, 22 полных страниц с рисунками и таблицами, 15 страниц списка использованных источников, 8 страниц приложений.

Диссертационная работа выполнялась в период с 2006 по 2019 г. на кафедре «Технология и организация строительного производства» ГОУ ЛНР «Луганский национальный аграрный университет» под руководством к.т.н., старшего научного сотрудника А.В. Назаровой.

## РАЗДЕЛ 1

# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ

### 1.1 Область применения тяжелых бетонов в зависимости от классов сред эксплуатации, требования к составляющим бетона и бетонам

В настоящее время опыт, накопленный в различных отраслях строительства, показывает, что бетон как композиционный материал является универсальным строительным материалом. Номенклатура бетонов, применяемых в современном строительстве, чрезвычайно обширна и постоянно расширяется. Этому в значительной мере способствует научно-технический прогресс в технологии вяжущих материалов, заполнителей и разнообразных добавок, позволяющий получать бетонные смеси и бетоны с заданными технологическими и физико-механическими свойствами.

Наряду с товарными бетонами, предназначенными для изделий и конструкций наиболее массового применения, широко применяют специальные бетоны для определенных отраслей строительства и эксплуатации в различных агрессивных средах. Номенклатура специальных бетонов является достаточно обширной и по мере развития строительства включает все новые разновидности.

Бетонные смеси применяются как при изготовлении сборных железобетонных конструкций и изделий, так и при монолитной технологии строительства, доля которой сегодня составляет порядка 86% и наблюдается тенденция возрастания. Вместе с тем некоторые особенности строительства и эксплуатации конструкций и сооружений обуславливают ряд требований к свойствам бетонной смеси и бетона.

В современном строительстве при массовом применении суперпластификаторов и гиперпластификаторов все большее применение получают модифицированные бетонные смеси с ОК = 16...21 см, классом

удобоукладываемости S4 (или марки по подвижности П4) согласно ГОСТ Р 57345-2016 "Бетоны. Общие технические условия" (EN 206-1:2013 Beton — Festlegung. Eigenschaften. Herstellung und Konformität. IDT), что позволяет укладывать такие высокоподвижные смеси под действием сил гравитации без или с применением непродолжительного виброуплотнения. Применение высокоподвижных бетонных смесей предполагает их использование в густоармированных конструкциях и сооружениях, сокращение времени уплотнения до 20...50% времени, необходимого для уплотнения обычных бетонов. При применении таких современных средств укладки бетонной смеси как бетононасосы снижается сопротивление перекачиванию на 25...70%, повышается коэффициент заполнения транспортных цилиндров на 5...6%. Это позволяет снизить потребляемую бетононасосом мощность на 8...10% или увеличить напор по сравнению с работой на обычных бетонных смесях.

Практика эксплуатации бетонных конструкций и сооружений в жидких средах очень обширна. В основном это бетонные опоры различного вида мостовых сооружений, причалы, дамбы, сооружения водоснабжения и канализации, бетонные обделки подземных тоннелей, фундаменты зданий, работающие как во влажных грунтах, болотах, озерах, так и в реках, морях. Все эти конструкции и сооружения в разной степени подвержены агрессивному воздействию окружающей среды, которая в свою очередь способствует развитию коррозионных процессов, как следствие к бетону данных конструкций и сооружений предъявляются требования по прочности, водонепроницаемости, плотности, коррозионной стойкости.

В ряде случаев, в зависимости от классов среды эксплуатации представленных в таблице 1.1 согласно ГОСТ 31384-2017 "Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования", целесообразно применять при изготовлении перечисленных выше конструкций и сооружений модифицированные бетонные смеси, позволяющие получать бетоны повышенной коррозионной стойкости на портландцементе типа ЦЕМ I согласно ГОСТ 31108-2016 "Цементы общестроительные. Технические условия", который

соответствует типу СЕМ I (EN 197-1:2011, Cement — Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. IDT).

Таблица 1.1

## Классификация сред эксплуатации

Индекс	Среда эксплуатации	Примеры конструкций и сооружений
Среда без признаков агрессии		
ХО	Для бетонов без арматуры и закладных деталей: сред, кроме воздействия замораживания и оттаивания, истирания и химической агрессии. Для ж/б: сухая	Конструкции находящиеся внутри помещений с сухим режимом эксплуатации.
Повреждение бетонов, вызванное попеременным замораживанием и оттаиванием, в присутствии или нет солей противобледенителей		
Воздействие на водонасыщенные бетоны попеременного замораживания и оттаивания агрессивная среда классифицируется по ряду показателей:		
XF1	Водонасыщение умеренное без антиобледенителей.	Вертикальные поверхности зданий и сооружений при воздействии дождя и мороза.
XF2	Водонасыщение умеренное с антиобледенителями.	Вертикальные поверхности зданий и сооружений, подвергающиеся воздействию агрессивных растворов антиобледенителей и замораживанию.
XF3	Водонасыщение сильное без антиобледенителей.	Конструкции и сооружения при воздействии дождей и морозов.
XF4	Насыщение сильное растворами солей антиобледенителей или морской водой.	Дорожные покрытия, обрабатываемые противогололедными реагентами. Горизонтальные поверхности мостов, ступени наружных лестниц и др. Зона переменного уровня для морских сооружений при воздействии мороза.
Химическая агрессия		
В результате воздействия химических агентов из почвы, подземных вод, коррозионная среда классифицируется по следующим показателям:		
XA1	Незначительное содержание агрессивных агентов - слабая степень агрессивности среды по таблицам 1.2-1.5	Конструкции находящиеся в подземных водах.
XA2	Умеренное содержание агрессивных агентов - средняя степень агрессивности среды по таблицам 1.2-1.5	Конструкции находящиеся в агрессивных грунтах.

Степень агрессивного воздействия грунтов и жидких агрессивных сред для классов сред эксплуатации ХА1 и ХА2 указаны в таблицах 1.2 – 1.5.

Таблица 1.2

Степень агрессивного воздействия сульфатов в грунтах на бетон марок по водонепроницаемости W4-W8

Цемент		Показатель агрессивности грунтов, мг/кг, на бетоны марок по водонепроницаемости			Степень агрессивного воздействия грунтов на бетоны
Группы цемента по сульфатостойкости	Вид цемента.	W4	W6	W8	
I	Портландцементы по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108, не входящие в группу II.	Более 500 до 1000	Более 1000 до 1500	Более 1500 до 2000	Слабоагрессивная.
		Более 1000 до 1500	Более 1500 до 2000	Более 2000 до 3000	Среднеагрессивная.
		Более 1500	Более 2000	Более 3000	Сильноагрессивная.
II	Портландцементы по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 с содержанием в клинкере $C_3S$ - не более 65%, $C_3A$ - не более 7%, $C_3A+C_4AF$ - не более 22% и шлакопортландцементы.	Более 3000 до 4000	Более 4000 до 5000	Более 5000 до 8000	Слабоагрессивная.
		Более 4000 до 5000	Более 5000 до 8000	Более 8000 до 10000	Среднеагрессивная.
		Более 5000	Более 8000	Более 10000	Сильноагрессивная.



Таблица 1.3

## Степень агрессивного воздействия жидких неорганических сред на бетон

Показатель агрессивности	Показатель агрессивности жидкой среды для сооружений, находящихся в грунтах с $K_f$ , свыше 0,1 м/сут. в открытых водоемах и для напорных сооружений при марке бетонов по водонепроницаемости.			Степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды на бетоны.
	W4	W6	W8	
Бикарбонатная щелочность, мг-экв/дм <sup>3</sup> (град).	Более 0 до 1,05	—	—	Слабоагрессивная.
Водородный показатель рН.	Более 5,0 до 6,5	Более 4,0 до 5,0	Более 3,5 до 4,0	Слабоагрессивная.
	Более 4,0 до 5,0	Более 3,5 до 4,0	Более 3,0 до 3,5	Среднеагрессивная.
	4,0 и менее	3,6 и менее	3,0 и менее	Сильноагрессивная.

Таблица 1.4

## Степень агрессивного воздействия жидких сульфатных сред для бетона марок по водонепроницаемости W8

Цемент		Показатель агрессивности жидкой среды с концентрацией сульфатов в пересчете на ионы $SO_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup> , для сооружений, расположенных как в грунтах с $K_f$ , св. 0,1 м/сут. Так и в открытом водоеме и для напорных сооружений при марке бетонов по водонепроницаемости	Степень агрессивного воздействия жидкой среды на бетоны
Группы цементов по сульфатостойкости	Вид цемента	W8	
I	Портландцементы по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108. не входящие в группу II.	Более 425 до 850	Слабоагрессивная.
		Более 850 до 1700	Средне агрессивная.
		Более 1700	Сильноагрессивная.
II	Портландцементы по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 с содержанием в клинкере $C_3S$ - не более 65%, $C_3A$ - не более 7%, $C_3A+C_4AF$ - не более 22% и шлакопортландцементы.	Более 2550 до 5100	Слабоагрессивная.
		Более 5100 до 6800	Средне агрессивная.
		Более 6800	Сильноагрессивная.

Таблица 1.5

Степень агрессивного воздействия жидких сульфатных сред, содержащих бикарбонаты, для бетона марок по водонепроницаемости W4 – W8

Цемент		Показатель агрессивности жидкой среды с концентрацией сульфатов в пересчете на ионы $\text{SO}_4^{2-}$ , мг/дм <sup>3</sup> , для сооружений, расположенных как в грунтах с $K_f$ , св. 0,1 м/сут. Так и в открытых водоемах и для напорных сооружений при концентрации ионов $\text{HCO}_3$ , мг-экв/л			Степень агрессивного воздействия жидкой неорганической среды на бетоны марки по водонепроницаемости и W4
Группы цементов по сульфатостойкости	Наименование и вид цемента	Более 0,0 до 3,0	Более 3,0 до 6,0	Более 6,0	
I	Портландцементы по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108. не входящие 8 группу II.	Более 250 до 500	Более 500 до 1000	Более 1000 до 1200	Слабоагрессивная.
		Более 500 до 1000	Более 1000 до 1200	Более 1200 до 1500	Среднеагрессивная.
		Более 1000	Более 1200	Более 1500	Сильноагрессивная.
II	Портландцементы по ГОСТ 10178, ГОСТ 31108 с содержанием в клинкере $\text{C}_3\text{S}$ - не более 65%, $\text{C}_3\text{A}$ - не более 7%, $\text{C}_3\text{A}+\text{C}_4\text{AF}$ - не более 22% и шлакопортландцементы.	Более 1500 до 3000	Более 3000 до 4000	Более 4000 до 5000	Слабоагрессивная.
		Более 3000 до 4000	Более 4000 до 5000	Более 5000 до 6000	Среднеагрессивная.
		Более 4000	Более 5000	Более 6000	Сильноагрессивная.

В зависимости от класса сред эксплуатации представленных в таблице 1.1 вышеперечисленные конструкции и сооружения, эксплуатирующиеся в классах сред ХО, XF1, XF2, XF3, XF4, ХА1, ХА2, должны соответствовать следующим требованиям:

- разрешенные виды и классы составляющих бетона по ЕН 12620 таблица 1.6;
- значение водоцементного отношения 0,46...0,65;
- минимальное содержание цемента 300 кг/м<sup>3</sup>;
- фактический класс бетона по прочности на сжатие В25...В35;
- минимальное воздуходержание в бетонной смеси – 4%;
- марке бетона по водонепроницаемости W4...W8;

- марка бетона по фактической морозостойкости F200...F300.

Таблица 1.6

### Требования к составляющим бетона

Характеристика	Категория EN 12620	
	Песок	Щебень
Содержание тонкодисперсных частиц	$f_3$	$f_{1,5}$
Коэффициент: - формы зерна - пластинчатости зерна	$Sl_{15}$ $Fl_{15}$	$Sl_{15} - Sl_{20}$ $Fl_{15} - Fl_{20}$
Сопротивление раздроблению	-	$SZ_{18}$
Плотность зерен (в сухом состоянии) $\rho_{rd}$	2,4 г/см <sup>3</sup>	2,8 г/см <sup>3</sup>
Водопоглощение, не менее	1,3%	1,0%

## 1.2 Современные представления о коррозионных процессах в бетонах

Проблема надежности и долговечности строительных материалов и конструкций широко изучается специалистами, занятыми исследованиями, разработкой, проектированием и возведением объектов. Вопросы стойкости, надежности и долговечности строительных материалов и конструкций постоянно рассматриваются на международных конференциях по технологии бетона и конгрессах по химии цемента, конференциях по применению золы-уноса, шлаков, тонкодисперсного кремнезема в бетоне, по вопросам строительства и долговечности морских сооружений и многих других. Очень важное место среди них занимает проблема коррозии бетона и его защите от нее.

На данный момент накоплен определённый опыт исследований причин коррозионного повреждения зданий и сооружений различного назначения [3]. Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод, что при правильном назначении мер защиты от коррозии, бетонные конструкции в основной своей массе сохраняют свои эксплуатационные свойства в течение проектных сроков эксплуатации. Как показывает практика исследований, раннее коррозионное повреждение конструкций из бетона наблюдается в том случае, если при их проектировании и возведении нарушаются существующие нормативные требования по защите конструкций и сооружений от коррозии.

Интенсивно исследования по изучению механизма и кинетики коррозионных процессов проводились во второй половине XX столетия. Монографию "Коррозия бетона" В.М. Москвина, изданную в 1952 году можно считать отправной точкой этих исследований [57].

В настоящее время разработка теории коррозионных процессов при воздействии на бетонные сооружения различных агрессивных сред и прогноз долговечности являются объектом обширных исследований. Таким ученым как: А.В. Волженский, Ю.М. Баженов, О.П. Мchedлова-Петросян, А.Е. Шейкин, П.Г. Комохов, В.И. Соломатов принадлежит огромная роль в этих исследованиях.

В современной науке широкую известность получили разработки, которые посвящены вопросам коррозионных процессов происходящих в структуре бетона, выполненные в таких известных и значимых научных центрах как: Лаборатория дорог и мостов во Франции; Американский институт бетона; Японский институт бетона; Немецкий комитет по железобетону. Процессы коррозии происходящие в структуре бетона и проблемы защиты бетона изучаются и рассматриваются целым рядом международных организаций: RILEM – Reunion internationale des Laboratories d'Essai et Recherche sur les Matériaux et les Constructions (Международный союз лабораторий по испытанию материалов и конструкций); ISO – International organization for Standardization (Международная организация по стандартизации); CEB – Committee Euro International du Beton (Европейский комитет по бетону); FIP – Federation Internationale de la Précontrainte (Международная организация по предварительно напряженному железобетону); CEN – Committee European de Normalisation (Европейский комитет по стандартизации). Огромный вклад в решение существующих проблем коррозии бетона внесли исследования проведенные такими учеными как: Й. Штарком, Х. Тейлером, Х. Ючикавой и С. Ючидой [83, 98, 145].

В.М. Москвин в монографии "Коррозия бетона", впервые привел классификацию коррозионных процессов, направленность исследований были нацелены на определение стойкости бетона при воздействии на него водных растворов различных солей, моделирующих минерализованные природные воды,

а также поиск способов защиты бетонных конструкций. Согласно этой классификации выделяют три вида коррозии [57].

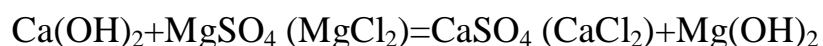
К коррозионным процессам происходящих при коррозии первого вида относят процессы, возникающие в структуре бетона при воздействии различных жидких агрессивных сред, способных растворять компоненты структуры цементного камня. Структурные элементы цементного камня подвержены растворению и выносу из тела бетона. Наиболее интенсивно процессы растворения протекают при фильтрационном влагопереносе через тело бетона. К коррозионным процессам второго вида относят процессы, в результате которых происходят химические взаимодействия – обменные реакции – между компонентами цементного камня и агрессивной среды, образовавшиеся при этом продукты реакции легко растворимы, и выносятся из структуры в результате диффузионных процессов влаги, или накапливаются в виде аморфной массы в теле бетона. Наиболее сложными процессами коррозии, при которых характерные разрушения материала обусловлены многими факторами, являются коррозионные процессы третьего вида. Данный вид коррозии включает процессы, в результате развития которых наблюдается накопление и закристаллизовывание малорастворимых продуктов химических реакций с увеличением объема твердой фазы в порах и капиллярах бетона, создающие внутренние напряжения, что приводит к разрушению структуры бетона [3, 55, 56, 57].

Коррозионным процесса происходящим при коррозии первого вида (коррозия выщелачивания), воздействие которой приводит к растворению компонентов цементного камня в результате действия воды, можно дать следующее описание: первоначально растворяется и вымывается водой гидроксид кальция (далее по тексту  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ), это вызывает гидролиз гидросиликатов и гидроалюминатов кальция, нарушение микроструктуры бетона и понижение как плотности так и прочности. Характерной особенностью  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  является способность растворяться даже в дистиллированной воде при температуре около  $20^\circ\text{C}$ . Существенно на повышение его растворимости влияет присутствие ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ . Эти процессы характерны преимущественно для речных

гидротехнических сооружений, например, плотин, опор мостов и т.д. Наблюдать признаки коррозии первого вида можно на участках переменного водонасыщения: это белые пятна, со временем превращающиеся в относительно крупные образования размером до 150 мм. Описанный выше процесс выщелачивания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  из тела бетона наблюдается при воздействии мягких вод при фильтрации через толщу и омывании бетонного сооружения [3, 55, 56, 57].

Воздействие различных видов воды содержащей химически активные вещества наиболее опасно для бетонных конструкций и сооружений. Возникающие при этом химические реакции можно отнести к коррозионным процессам второго вида: кислотное и магниальное воздействие внешней агрессивной среды. Происходящие процессы коррозии в результате воздействия кислот в большей степени зависят от самой природы агрессивного вещества. Одной из наиболее распространенных коррозий в естественных условиях является углекислая коррозия. Источники появления углекислоты (далее по тексту  $\text{CO}_2$ ) в естественных природных водах – это в большинстве случаев биохимические процессы, протекающие в ней и в почвах. Концентрация  $\text{CO}_2$  преимущественно зависит от сезонности, так как определяется температурными условиями. При температуре  $15^\circ\text{C}$  показатель pH грунтовых вод в среднем колеблется в пределах 4,6 - 5,7. Кроме  $\text{CO}_2$  следует отметить, что на структуру бетона могут оказывать агрессивное воздействие соляная, серная, азотная, уксусная, гуминовая кислоты. Так например, гуминовая кислота, хотя и оказывает некоторое действие на бетон, значительно менее агрессивна, чем чистая или содержащая  $\text{CO}_2$  вода. Как следствие в результате такого взаимодействия образуется кальциевая соль и аморфные массы. Часть растворимых продуктов выносятся из структуры бетона, нерастворимые оседают в порах и капиллярах и замедляют доступ агрессивной среды к еще неповрежденным участкам конструкции, влияя на скорость диффузии ионов в поверхностных слоях бетона. Ряд вопросов указанного процесса коррозии достаточно широко рассмотрены в литературе [3, 57], можно лишь дополнить суждение, что данный вид коррозии характерен для конструкций подземных сооружений: фундаментов, коллекторов, канализационных труб.

В большинстве случаев в подземных водах присутствуют соли магния, например  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$ , которые в свою очередь способствуют развитию магниальной коррозии. В результате агрессивного воздействия перечисленных солей возможно разложение гидросиликатов, а также гидроалюминатов кальция, сопровождающееся образованием гипса и нарушением структуры материала. Основной реакцией, происходящей между сульфатом или хлоридом магния является:



$\text{MgSO}_4$  образует плотную твердую оболочку вследствие отложения гидроксида магния в поверхностных порах и капиллярах бетона. Цементный камень, подвергнувшийся воздействию  $\text{MgSO}_4$ , в итоге становится мягким и разрушается, образуя при этом зернистые твердые частицы.

Происходящие процессы кристаллизации солей в порах и капиллярах бетона, а также реакции щелочей компонентов цементного камня с составляющими заполнителя относятся к коррозионным процессам третьего вида [90].

В структуре бетона имеют место реакции между щелочами и микрокристаллическими кремнеземистыми фазами (щелочекремнеземистые реакции), которые присутствуют в метаморфических, вулканических и осадочных породах. Так как интенсивность коррозии зависит от состава цемента, вида минеральных добавок и заполнителя, следовательно на кинетику ее развития оказывают влияние количественное соотношение между ними, а также условия эксплуатации конструкций и сооружений подверженных агрессивному воздействию.

Современные исследования, выполненные рядом авторитетных международных организаций ISO, RILEM, FIP, CEB, CEN определили несколько направлений по определению классификации коррозионных процессов, происходящих в структуре бетона. Данная классификация определяется тремя способами. В основу первого способа закладывается название оказывающего влияние агрессивного вещества, например, Chloride Attack – коррозия при

воздействии хлоридов. Второй способ – название определяет сам происходящий процесс, обуславливающий коррозионное разрушение, или вещество, образующееся вследствие этой коррозии, например Alkali Silica Reaction – реакции взаимодействия щелочей и кремнезема. Третий способ – классификация коррозионных процессов, в названии которых учитывается и характеристика агрессивной среды и исследуемый происходящий процесс, например Ettringite Sulfate Attack – сульфатная коррозия бетона при образовании этtringита.

Подытоживая вышесказанное можно сказать, что коррозионные процессы, происходящие в структуре бетона под воздействием внешней агрессивной среды, очень сложны и многообразны. Также следует отметить, что целый ряд деструктивных процессов, рассмотренных выше, может происходить одновременно. Например, воздействие сульфатов способно вызвать магниезальную и сульфатную коррозию, кристаллизацию гипса, образование этtringита.

Несмотря на значительные различия в трактовке классификации коррозионных процессов, изучение вопроса, по изменению показателей качества строительных материалов в процессе их эксплуатации под воздействием тех или иных факторов воздействия внешней агрессивной среды, несомненно будет способствовать повышению эксплуатационных свойств этих материалов, обоснованию способов первичной защиты, а также даст возможность прогнозирования сроков службы сооружений или укажет на необходимость своевременного проведения ремонтно-восстановительных работ.

### **1.3 Существующие способы повышения коррозионной стойкости бетонов**

Основываясь на многолетних экспериментальных исследований таких ученых как В.М. Москвин, С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь, В.И. Бабушкин, В.М. Латыпов, О.П. Мchedлов-Петросян, В.Б. Ратинов, В.Ф. Степанова, Ю.П. Чернышев, В.Л. Чернявский, В.М. Яковлев и др. установлены принципиальные



схемы химических реакций, протекающих в различных коррозионных средах в зависимости от исходных составов. В результате проведенных исследований были разработаны и обоснованы методы первичной и вторичной защиты, позволяющие значительно расширить область применения бетона.

Способы первичной защиты бетона от коррозии, как правило, предусматривают при изготовлении и формировании конструкций и сооружений вводить в состав бетона специальные добавки различной природы, изменяя при этом как минералогический состав, так и микроструктуру бетона. Роль добавок могут выполнять разного рода пластифицирующие, водоудерживающие, стабилизирующие, химические модификаторы, аморфный кремнезем и др. Химические добавки в значительной мере повышают технологические и эксплуатационные свойства бетонной смеси и бетона. Повышение плотности бетона приводит к тому, что отрицательно воздействующие на него агрессивные агенты замедляют скорость своего передвижения в капиллярно поровом пространстве бетона. Ряд добавок оказывают двойное действие, т.е. повышают одновременно несколько технологических и эксплуатационных свойств. Напротив другие же могут повышать одно свойство и понижать другое.

Способы вторичной защиты бетона от процессов коррозии в основном предусматривают нанесение на поверхность бетона различных химикомоскательных материалов, защитных смесей, пропиток, покрытий и облицовку различными плитами - гидроизоляцию бетона.

Современная технология бетона позволяет всё в большей степени использовать для мер первичной защиты различные комплексные органоминеральные модификаторы на основе твердо-бытовых и техногенных отходов, при этом сужается область вторичной защиты, связанная с применением различного рода защитных покрытий, что оказывает влияние на формирование себестоимости материалов.

Теория направленного структурообразования на уровне микроструктуры получила развитие в исследованиях А.Н. Плугина и А.А. Плугина. В них

убедительно показано, что свойства бетона непосредственно зависят от характера формируемой микроструктуры [70].

Для направленного структурообразования модифицированных бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами применяют различные виды активационных воздействий, например физические, химические, физико-химические а также механические.

Выполняя исследования в этой области О.П. Мчедлов-Петросян [58], сформулировал и предложил "принцип соответствия" или "принцип когерентности", говорящий о том, что активацию необходимо прикладывать в определенное время для получения нужного уровня структуры цементных композитов. В основе предложенного принципа положены фундаментальные законы физической химии, физико-химической механики. Практическим приложением принципа является принцип подбора оптимальной дисперсности, позволяющий повысить однородность материала и увеличить его плотность, прочность, стойкость к воздействию внешних агрессивных сред. Данная теория образования и развития дисперсных структур детально рассмотрена и описана в работах П.А. Ребиндера [77].

Одной из наиболее важных характеристик для бетонов является его проницаемость, которая в значительной мере определяет способность материала сопротивляться воздействию увлажнения и замораживания, влиянию различных агрессивных сред и атмосферных факторов.

При проектировании железобетонных и бетонных конструкций, эксплуатирующихся в различных агрессивных средах, их коррозионную стойкость следует обеспечивать, прежде всего, применением мер первичной защиты: применением коррозионно-стойких материалов, снижением проницаемости бетона, добавок, повышающих коррозионную стойкость бетона.

На стойкость бетона при развитии коррозионных процессов существенно влияют минералогический состав клинкера и вещественный состав цемента, начиная с момента контакта бетона с агрессивной средой [6, 22, 81, 93, 96].

С появлением суперпластификаторов третьего поколения и применением тонкодисперсных кремнеземсодержащих материалов техногенного происхождения в современной технологии бетона произошел качественный скачок. Сбалансированное сочетание различного рода добавок-модификаторов, а также при необходимости совмещение с ними других органических и минеральных материалов, позволяет направленно управлять технологическими свойствами бетонных смесей, влиять на структуру цементного камня на микроуровне так, чтобы придать ей свойства, обеспечивающие высокие эксплуатационные характеристики, коррозионную стойкость, бетонных сооружений и конструкций [41].

Практика реализация уникальных проектов (строительство Крымского моста, протяженные подвесные мосты в Китае и Японии, возведение массивных транспортных и гидротехнических сооружений в Голландии, нефтяные и газовые платформы по всему миру) обусловила повышение требований к бетонным смесям и бетонам: применение модифицированных смесей в большом объеме, повышение эксплуатационных свойств бетонов, в том числе обеспечение их стойкости к воздействию внешней среды.

В зависимости от условий эксплуатации бетона на стадии его проектирования можно оптимизировать бетонную смесь и бетон по составу, технологическим, эксплуатационным и экономическим параметрам.

Проведя анализ работ по защите композиционных материалов на основе портландцемента от коррозионных процессов в результате воздействия внешних факторов [24, 31, 49, 51, 72, 73, 79, 80], установлено, что мероприятия по первичной защите разделяют на две группы: первая - регулирование химического и минералогического состава цемента; вторая – управление структурообразованием бетона. Современные методы технологии коррозионно-стойкого модифицированного бетона зачастую включают в себя оба этих принципа.

## **1.4 Теоретическое обоснование состава комплексного органоминерального модификатора**

### **1.4.1 Минеральные добавки, влияющие на коррозионную стойкость бетонов**

Повышения технологических и эксплуатационных свойств бетона (удобоукладываемость, коррозионная стойкость, водонепроницаемость, морозостойкость) можно достичь путем введения в состав бетонных смесей специальных минеральных добавок, влияя при этом на формирование микроструктуры бетона и его свойства.

В производстве современных композиционных материалов на основе портландцемента сочетание минеральных добавок с суперпластификаторами при оптимизации гранулометрического состава заполнителей позволяет получить бетоны с повышенными показателями качества [74, 86].

По дисперсности минеральные добавки подразделяют на добавки-разбавители цемента, близкие по своему гранулометрическому составу к цементу – зола-уноса теплоэлектростанций, молотый доменный гранулированный шлак, и др., а также на добавки-уплотнители (т.е. добавки – наполнители), например, микрокремнезем, метакраин, которые имеют размер частиц примерно в 100 раз меньше зерен цемента и удельную поверхность 2000-3000 м<sup>2</sup>/кг [10]. Применение в современной технологии бетона минеральных добавок положительно сказывается на технологических и эксплуатационных свойствах бетонной смеси и бетона, что связано либо с физическим эффектом, который как правило проявляется в том, что мелкие частицы обычно имеют более тонкий гранулометрический состав, чем портландцемент, либо с реакциями активных гидравлических составляющих.

Наряду с известным влиянием минеральных добавок на технологические свойства бетонной смеси, степень гидратации портландцемента, прочность и проницаемость затвердевших композиционных материалов на основе

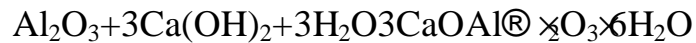
портландцемента, сопротивление трещинообразованию при нормальных условиях твердения и тепловой обработке, они способствуют также уменьшению воздействия различных щелочей на диоксид кремния  $\text{SiO}_2$ , а также сопротивление при воздействии сульфатной агрессивной среды и коррозии выщелачивания [5, 32, 84]. Существует мнение, что среди активных минеральных добавок из промышленных отходов зола-уноса ТЭС благодаря особенностям сфероидальных частиц используется в составах бетонов с повышенной коррозионной стойкостью для снижения водопотребности в результате повышения удобоукладываемости бетонных смесей.

Однако исследования ряда ученых выявили и недостатки, так применение крупнозернистой золы-уноса и золы-уноса с потерями при прокаливании порядка десяти и более процентов скорее повышает, чем снижает водопотребность, тем самым увеличивает проницаемость бетона. Также известно, что повышение водопотребности происходит в случае, когда в золе-уносе присутствует значительное количество ячеистых частиц кокса, обычно имеющих размер около 100 мкм. Некоторые виды высококальциевой золы-уноса содержат значительное количество  $\text{C}_3\text{A}$ , что приводит к увеличению водопотребности из-за потери консистенции, вызванной быстрым образованием гидроалюмината кальция или гидросульфатоалюмината [20].

Но как показывает мировая практика, условия сжигания угля на теплоэлектростанциях значительно отличаются – что естественно сказывается на качестве золы-уноса. В результате для массового применения золы-уноса в качестве минеральной добавки в бетонных смесях и бетонах в большинстве случаев необходима предварительная переработка или обогащение для превращения отхода от сжигания углей в полезный продукт, пригодный для дальнейшего применения, что естественно требует дополнительных энергетических и как следствие экономических затрат.

В производстве современных высококачественных бетонов перспективным направлением является применение разного вида минеральных добавок, обладающих пуццоланическими свойствами [12]. Согласно [30] в соответствии со

стандартом ASTM C 618 к ним относятся кремнеземистые и глиноземистые материалы, которые сами по себе обладают небольшими или вообще не обладают вяжущими свойствами, но в дисперсном или тонкодисперсном виде, при наличии влаги вступают в химическую реакцию с гидроксидом кальция при нормальной температуре с образованием соединений, обладающих вяжущими свойствами:



Пудцолановые добавки как техногенного так и природного происхождения, как правило, содержат поверхностные силанольные или алюминольные группы, которые являются донорами протонов. В этом случае акцепторы протонов способны очень прочно связываться с поверхностными центрами силикатных минеральных добавок [59]. В диссертационной работе С.В. Минакова [53] на основе метода квазиизометрической дифференциальной калориметрии показано, что уже в первые минуты взаимодействия с водой затворения отрицательно заряженные (электронодонорные) активные центры минеральных добавок служат подложкой, на которой осаждаются электроноакцепторные зародыши частиц гидроалюминатных фаз и кристаллы портландита, что задерживает их рост и также снижает тепловыделение в индукционном периоде, отодвигая его на период схватывания. Это согласуется с таким мнением А.Г. Ольгинского [67], что структурообразующая роль минеральных добавок заключается в сокращении индукционного периода формирования микроструктуры в результате адсорбции продуктов гидролиза и увеличения времени достижения перенасыщения жидкой фазы. Таким образом, минеральная добавка активизирует процессы гидратации вяжущего, при этом способствует увеличению объема и степени кристалличности образующихся гидратов, среди которых значительно возрастает доля более прочных и устойчивых низкоосновных гидросиликатов кальция типа CSH (I) с соотношением C/S ≈ 1,0 вместо первичных кристаллогидратов типа портландита и высокоосновных ГСК, что способствует уплотнению структуры на контакте с добавкой со значительным повышением микротвердости гидратных сростков [42, 66].

По мнению профессоров Д.Н. Коротких, Ю.М. Баженова, Е.М. Чернышова основная структурная роль микронаполнителя как раз и состоит в уплотнении системы твердеющего цементного камня. На структурном уровне цементирующих веществ ультрадисперсные минеральные добавки (частицы, размер которых на несколько порядков меньше, чем частицы цемента), например микрокремнезем, кроме этой прямой функции выполняют также физико-химическую структурообразующую функцию [8].

Микрокремнезем - это побочный продукт в результате выплавке ферросилиция а также его сплавов в виде шарообразных частиц с высоким содержанием аморфного кремнезема, который образуется в результате восстановления углеродом кварца высокой чистоты в электропечах и улавливается рукавными фильтрами в результате очистки отходящих газов [30]. Гидравлическая активность этой добавки по показателю пуццоланизации в структуре цементной матрицы более чем в 1,5 раза выше минеральной добавки трепела и зависит от химического состава и природы примесей, что определяется видом сплава, при выработки его в печи [44, 77, 78]. При выплавке одной тонны ферросилиция в среднем образуется порядка 0,05 - 0,25 тонны микрокремнезема. Среднеповерхностный размер частиц микрокремнезема составляет около 68 нм, при этом суммарная доля частиц с размером до 200 нм составляет 50%, до 500 нм – 96%. Уникальным свойством микрокремнезема является высокая величина полной свободной поверхностной энергии, что обуславливает его химическую активность [52].

Его частицы, распределяясь в общем объеме цементного теста, образуют в совокупности с более крупными частицами пространственный трехмерный каркас, состоящий из цепочек и агрегатов с многочисленными коагуляционными контактами. В результате существенно изменяются технологические свойства: повышаются структурная и пластическая вязкость, когезия и тиксотропные свойства смесей, как следствие усиления межчастичных взаимодействий [107, 140].

Применение сочетания микрокремнезема (10%) и нанокремнезема ( $d=15$  нм, 2%), как показывает практика, обеспечивает требуемую консистенцию бетонной смеси: снижается водоотделение и расслоение. С увеличением расхода цемента от 400 до 500 кг/м<sup>3</sup> наблюдается повышение прочности бетона, улучшение технологических свойств смесей [128].

Но в то же время микрокремнезем увеличивает водопотребность бетонных смесей, что негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках бетона. Для нивелирования данного влияния необходимо повышать количество химических добавок в бетонной смеси – суперпластификаторов, гиперпластификаторов, что естественно влечет за собой удорожание бетонной смеси и бетона.

Широкому внедрению микрокремнезема в составах бетонов препятствуют ограниченная технологичность этой добавки в связи с ее низкой насыпной плотностью, а также высокая стоимость. Если еще в недалеком прошлом кремнеземистую пыль рассматривали исключительно как неизбежные и ненужные промышленные отходы, то сегодня ее стоимость, как правило, превышает стоимость цемента: в Великобритании – в 2-3 раза, в Швеции – в 1,5-2 раза, в США – примерно в 5 раз. Как результат в настоящее время идет постоянный поиск наиболее эффективных композиций минеральных добавок, в которых микрокремнезем частично заменяется другими, более доступными компонентами. При этом такие многокомпонентные композиции зачастую оказывают большее комплексное влияние на свойства бетонных смесей и бетонов, чем однокомпонентные добавки.

В работах Н.М. Зайченко и А.К. Халюшева [92, 147] показана эффективность комбинирования в составах высокопрочного бетона (композиционных цементов) комплекса минеральных добавок, включающего золу-уноса, микрокремнезем, шамотно-каолиновую пыль, а также молотые доменный граншлак, шлак теплоэлектростанций, известняк. Так же определены оптимальные соотношения между минеральными добавками, на основе которых разработаны составы многокомпонентных композиционных цементов типа КЦ В/Б-400 (содержат



вместо части доменного граншлака и золы-уноса молотый шлак теплоэлектростанций, молотый известняк или пыль шамотно-каолиновую), а также композиционных портландцементов типа ПЦ II/Б-К-500 (содержат вместо части доменного граншлака молотый известняк, пыль шамотнокаолиновую или микрокремнезем) [91]. В результате разработанные составы композиционных цементов по показателям качества соответствуют требованиям ГОСТ 30515-2013.

Среди перечисленных выше минеральных добавок наибольшую величину плотности имеет доменный гранулированный шлак –  $2,9 \text{ г/см}^3$ . Эта добавка выполняет функцию модификатора прочности (strength modifier) и плотности (density modifier) для обеспечения седиментационной устойчивости крупного заполнителя в цементно-песчаной матрице. В то же время, бетоны с высоким содержанием доменного граншлака взамен части портландцемента, как правило, характеризуются удлинёнными сроками схватывания и низкой кинетикой нарастания прочности в раннем возрасте твердения. Данный факт требует разработки мероприятий по устранению этого эффекта, например, применением комплекса добавок, включающего суперпластификатор, ускоритель твердения и др. [148].

По некоторым данным введение в состав бетона микронаполнителей в виде метаксаолина в сочетании с эффективным для данного цемента гиперпластификатором обеспечивает повышение предела прочности бетона при сжатии до 70%, модуля упругости бетона до 15%, снижение контрактационной усадки до 30%. Но так как метаксаолин получают путем термической обработки природного материала каолина, применение его в качестве минеральной добавки при производстве бетона влечет за собой нагрузку на природные ресурсы и требует дополнительных энергетических затрат.

Таким образом, различные минеральные добавки являются неотъемлемым компонентом при производстве современных бетонов, использование которых позволяет снизить содержание клинкерного цемента, а также модифицировать структуру новообразований камня вяжущего, повысить плотность структуры, и,

как следствие, прочность, долговечность и стойкость бетона в агрессивных условиях эксплуатации.

Но как отмечено выше, применение ряда минеральных добавок связано с определенными проблемами, такими как: значительное увеличением водопотребности бетонной смеси, дополнительными расходами как природных, так и энергетических ресурсов, увеличением себестоимости конечной строительной продукции. Одним из вариантов решения сформулированной проблемы – применение в качестве минеральной добавки в композиционных материалах на основе цемента твердо-бытовых и промышленных отходов – стеклобоя.

#### **1.4.2 Обоснование выбора суперпластификатора**

Одним из основных современных условий получения бетонов с нормируемыми и повышенными показателями качества, в том числе коррозионной стойкости, является применение суперпластификаторов [113] представляющих собой полиэлектролиты органического происхождения (поверхностно-активные вещества – ПАВ), которые функционируют, как дисперсная химическая среда в гетерогенных системах [37, 124, 138], при этом их эффективность проявляется в способности сохранять технологические свойства бетонных смесей в течение как минимум 30 минут – времени, необходимого для формирования бетонных изделий и конструкций [181].

Как правило, ПАВ применяются не как индивидуальные продукты, а в композициях. Объясняется это целым рядом причин как экономического, так и физико-химического характера. Например, смесь высоко- и низкомолекулярных ПАВ. Высокомолекулярные ПАВ обуславливают высокую устойчивость дисперсных систем благодаря созданию на поверхности прочного студнеобразного структурированного адсорбционного слоя толщиной в десятки и сотни нанометров. Низкомолекулярные ПАВ обеспечивают высокий

диспергирующий эффект и сильно понижают поверхностное натяжение на границе раздела фаз.

Из источников [16, 28, 37, 123, 142] следует, что суперпластификаторы подразделяются на четыре основные группы: модифицированные лигносульфонаты технические (МЛСТ), продукты конденсации сульфированного нафталина с формальдегидом (СНФ), меламинсульфокислоты с формальдегидом (СМФ) и полимеры (П), включающие полиакрилаты, полистирольные сульфонаты, поликарбоксилатные эфиры. Механизм их действия на дисперсные системы, в частности на цементное тесто, тесно связан с адсорбцией на продуктах гидратации клинкерных минералов. Адсорбция в цементных системах имеет свои особенности – принципиальное значение могут иметь химическое (пространственное) строение молекул добавок или строение адсорбционного слоя [21].

Фактором, определяющим адсорбцию полярных соединений в водных растворах, является способность молекул воды образовывать водородные связи, как с самими молекулами, так и с поверхностью адсорбента [64]. В свою очередь, адсорбционный механизм пластифицирующего действия ПАВ предполагает диссоциацию ионогенных групп и адсорбцию их на активных центрах поверхности твердой фазы и ее гидрофолизацию [76].

По А.М. Когановскому [1, 2] на гидрофильных поверхностях оксидов, гидроксидов или алюмосиликатов адсорбция полярных органических молекул возможна только вследствие специфического (химического или кулоновского) взаимодействия, т.к. вытеснение воды (нескольких молекул) требует значительных затрат энергии. В этой связи большинство молекул суперпластификаторов, представляющих собой анионные полиэлектролиты, адсорбируется на положительно заряженных минералах портландцементного клинкера  $C_3A$  и  $C_4AF$ , а также продуктах их гидратации в результате электростатического взаимодействия [126, 145]. При этом, в механизме действия суперпластификаторов типов СНФ, СМФ, МЛСТ преобладает эффект электростатического отталкивания частиц цемента и стабилизации, вызванный тем, что адсорбционные слои из молекул добавки увеличивают величину Z-

потенциала на поверхности цементных частиц до величины -23...-28 мВ [41, 67, 102, 115]. Напротив, диспергирование и стабилизация цементного теста при использовании пространственных полимерных молекул модифицированных полиакрилатов и поликарбоксилатов обеспечивается в основном за счет сильного стерического эффекта отталкивания цементных частиц [129]. За счет боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекул поликарбоксилатов продолжительность их пластифицирующего действия в 3-4 раза больше по сравнению с сульфомеламиновыми, сульфонафталиновыми формальдегидами или лигносульфонатами [106, 115, 116]. Указанная выше способность позволяет не только повысить подвижность раствора в ранние сроки, но и, как правило, сохранять ее в течение большего периода времени, что положительно сказывается на сроках транспортировки бетонных смесей к местам укладки на строительных площадках.

По данным [11, 82, 87, 103, 104, 117, 119, 120, 122, 123, 133, 139] совместимость в системе "портландцемент – суперпластификатор" затрагивает следующие параметры, связанные с цементом: химический и минералогический состав, в частности содержание  $C_3A$ , содержание щелочей и свободной извести, состав и тип сульфата кальция (дигидрат, базанит, ангидрид), размер частичек цемента. Со стороны пластификатора на его совместимость с цементом влияют химическая природа, свойства (средняя молекулярная масса, степень полимеризации), а также количество добавки и способ введения в бетонную смесь.

Применительно к современным бетонам совместимость добавок с цементами следует рассматривать, как способность добавок обеспечивать требуемые технологические свойства а также поддерживать их на заданном уровне определенное время с учетом действия различных факторов [34]. Подвижность и потеря ее бетонной смесью на строительной площадке – одна из основных причин, которая приводит к неоднородности прочности и как следствие снижению долговечности бетона в конструкциях и сооружениях [119]. Некоторые сочетания "портландцемент – суперпластификатор" обеспечивают нужный уровень подвижности бетонной смеси в течение одного часа, другие – после 10-15

минут выдержки проявляют склонность к резкому ее снижению [104, 138, 142]. По данным [63] для оценки реологической активности СП в сочетании с конкретным цементом можно использовать величину предельного напряжения сдвига суспензии цементного теста.

Несовместимость в системе "портландцемент – суперпластификатор" возрастает с увеличением содержания в клинкере портландцемента трехкальциевого алюмината  $C_3A$  [120]. В бетонных смесях с добавкой нафталин(меламин)формальдегидных конденсатов с увеличением адсорбции суперпластификатора на минералах цемента и продуктах гидратации начальная подвижность повышается. Однако с течением времени подвижность смесей падает, что связано с недостатком "свободного" суперпластификатора в объеме поровой жидкости, необходимого для электростатической стабилизации дисперсной системы [143, 146]. Такая же картина наблюдается и в случае применения поликарбоксилатных полимеров – чем выше содержание  $C_3A$ , тем больше критическая доза добавки для достижения требуемого пластифицирующего эффекта [50].

Также следует отметить, что СНФ-суперпластификаторы в меньшей мере влияют на воздухововлечение в бетонную смесь. Так, по данным [54] независимо от вида применяемой воздухововлекающей поверхностно-активной добавки СНФ-суперпластификатор снижает водоотделение и не оказывает воздухововлекающего действия, а также практически не оказывает влияния на воздухововлечение, вызванное воздухововлекающей поверхностно-активной добавкой.

Следовательно, бетонные смеси с полиметиленнафталинсульфонатами необходимо производить с применением большого количества тонкодисперсных минеральных материалов. Ю.М. Баженовым [10] и П.Г. Комоховым [44] отмечено, что эффективность добавки суперпластификатора во многом зависит от способа ее введения в бетон. Наилучшие результаты получаются, например, когда минеральная добавка – микрокремнезем или смесь микрокремнезема с золой-уносом, смешивается с суперпластификатором заранее. Такой подход стал основой для создания комплексных модификаторов на органоминеральной основе

с использованием суперпластификаторов нового поколения, активных и малоактивных минеральных добавок [13].

В своих исследованиях Alonso М.М. и др. [105] отметили, что поликарбоксилат хорошо адсорбируется не только зернами цемента, но и минеральными наполнителями. При этом, количество добавки, адсорбированной на поверхности золы-уноса и доменного граншлака, немного меньше, чем на поверхности известняка. Ввиду наличия отрицательно заряженных функциональных сульфогрупп молекулы полиметиленафталинсульфонатов также способны адсорбироваться на активных центрах поверхности минеральных добавок. С ростом поверхностного заряда адсорбция добавок увеличивается [99, 135].

Адсорбционную активность минеральных добавок (наполнителей) также связывают с их гидравлической активностью. Согласно [11, 36] наличие в бетоне минеральных добавок низкой гидравлической активности повышает пластифицирующий эффект суперпластификатора С-3, и для получения литых бетонных смесей требуется меньшее количество добавки, напротив пластифицирующий эффект С-3 в бетонных смесях с высокоактивными минеральными добавками ниже, а эффективная дозировка С-3 резко возрастает. Так, бетонные смеси, содержащие в качестве добавки микрокремнезем, даже при дозировке до 10% требуют повышенного расхода суперпластификаторов [135].

Рядом авторов отмечено, что введение минеральных добавок – термоактивированного каолина, микрокремнезема или молотого известняка [144] совместно с СНФ-суперпластификатором обеспечивает меньшие потери подвижности бетонной смеси в течение первых двух часов после приготовления, чем без минеральной добавки.

Модифицирование минеральных добавок позволяет, изменяя природу их поверхности (гидрофильность, электрический заряд, строение двойного электрического слоя, концентрацию поверхностных активных центров), в широких пределах активировать процесс структурообразования цементных дисперсий и формирование микроструктуры камня вяжущего [4, 46, 130].

Тем не менее, к колебаниям химико-минералогического состава цемента, и особенно содержания щелочей, в меньшей мере реагируют разжижители на основе сульфированных нафталинформальдегидных конденсатов. При этом, существует обратная зависимость между количеством адсорбированного полиметиленнафталинсульфоната и областью значений подвижности цементного теста, которая с повышением адсорбированного суперпластификатора снижается, а потери подвижности повышаются [102, 137, 139, 143, 146]. По данным исследований Н.М. Зайченко [147], S. Jiang, C. Jolicoeur, B. Kim, T. Nawa и др. [134, 143] добавка сульфата натрия способствует повышению подвижности цементного теста в результате снижения величины адсорбции суперпластификатора. В присутствии щелочного сульфата адсорбция на  $C_3A$  и  $C_4AF$  ингибируется и увеличивается на  $C_3S$  и  $\beta-C_2S$ , а общее количество адсорбированного пластификатора уменьшается, повышается его концентрация в жидкой фазе бетонной смеси, что вызывает диспергирование частиц и снижение вязкости цементного теста [34].

Этот факт свидетельствует о том, что при определенных условиях суперпластификаторы на основе полиметиленнафталинсульфонатов могут успешно применяться в составах бетонных смесей и бетонов повышенной щелочности.

### **1.4.3 Органоминеральные модификаторы на основе твердо-бытовых и промышленных отходов. Научная гипотеза исследования**

Очень значительный интерес представляет изучение влияния комплексного введения минеральной добавки и суперпластификатора, поскольку при этом может изменяться не только структура (пористость) цементного камня, но и соотношение между образовавшимися продуктами гидратации, модуль упругости которых различен. Например, по данным Г.В. Несветаева [65] суперпластификатор на основе эфира поликарбоксилатов изменяет относительную величину модуля упругости цементного камня от 0,895 до 1,067, т.е. примерно в пределах 10%, в то время как при совместном применении с



минеральной добавкой достигается более существенное повышение величины относительного модуля упругости от 0,67 до 1,46, т.е. в пределах 20%. При этом, как отмечено выше, очень важное значение имеет порядок введения добавок в бетонную смесь, как с точки зрения достигаемого эффекта, так и технологических аспектов. По мнению В.Г. Батракова [13] наиболее перспективным является создание комплексных модификаторов на органоминеральной основе с использованием суперпластификаторов нового поколения, активных и малоактивных минеральных добавок.

Отдозированное количество органических веществ – структурообразователей, пластификаторов в комплексных органоминеральных модификаторах закрепляется на высокодисперсном неорганическом сорбенте. В процессе смешивания с цементом органические вещества равномерно распределяются и сосредотачиваются в местах подвижных межагрегатных контактов пространственной структуры цементной дисперсии. При введении таким способом органические части добавки не оказывают пассивирующего влияния на скорость образования и поверхностную энергию структурно-активных гидратных фаз [19].

В последнее время учеными Российской Федерации [40, 97, 125] разработаны очень эффективные добавки полифункционального действия серии МБ, которые представляют собой порошкообразные композиционные материалы на органоминеральной основе, минеральная часть которых представлена микрокремнеземом или его смеси с кислой золой уноса, а его органическая часть представлена суперпластификатором или его смесью с регулятором твердения и другими различными добавками. Установлено, что в результате варьирования составом и дозировкой комплексного органоминерального модификатора позволяет проектировать свойства бетонных смесей (вязкость, сохраняемость подвижности,) и бетонов (морозостойкость, прочность, проницаемость, модуль упругости, ползучесть, тепловыделение) в зависимости от имеющихся в распоряжении исходных материалов, принятой технологии возведения сооружений и условий их эксплуатации. Показано, что замещение в составе



минеральной части МБ до 50% ультрадисперсного микрокремнезема грубодисперсной золой-уносом практически не изменяет свойства бетонных смесей и бетонов, что позволяет расширить производственную базу органоминеральных модификаторов, значительно снижая их конечную стоимость [97].

По некоторым данным [100] кремнезем с удельной поверхностью 1400-3000 м<sup>2</sup>/кг очень легко реагирует с гидроксидом кальция, высвобождаемым в процессе гидратации цемента, чем повышает количество гидратированных силикатов типа C-S-H. Эта образовавшаяся вновь фаза C-S-H характеризуется меньшим отношением C/S (до 1,4), C-S-H в результате гидратации цемента. Как следствие, эта фаза обладает способностью присоединять другие ионы, в частности щелочи.

Современная энергосберегающая технология производства материалов на основе техногенных отходов - стеклобоя чрезвычайно проста и не требует дополнительного специального оборудования, что позволяет организовать производство на свободных площадях действующих предприятий стройиндустрии без существенных финансовых капиталовложений. Бой стекла после сортировки, мойки, дробления, помола и рассеивания на фракции можно считать полностью подготовленным для изготовления модифицированных тяжелых бетонных смесей и бетонов.

Применение в технологии бетона добавки на основе стеклянного порошка с размерами агрегатов более 50 мкм с одной стороны снижает эффективность добавки как микронаполнителя и пуццоланы, с другой – может создавать опасность развития щелочной коррозии бетона. Щелочи, присутствующие в поровой жидкости бетонной смеси, взаимодействуют с крупными агрегатами стеклянного порошка, образуя гель, который впитывает воду и расширяется, что особенно интенсивно проявляется в условиях тепловлажностной обработки бетонных изделий.

Рядом зарубежных ученых было установлено, что включение в состав вяжущего стеклянного порошка высокой дисперсности не приводит к снижению показателей прочности цементных образцов, а на оборот повышает ее. В

результате чего авторы высказывают предположение о высокой скорости протекания процесса щелочносиликатной реакции, что приводит к завершению процесса через 24...28 часа, как вследствие в дальнейшем не может быть зафиксировано расширение и разрушение образцов, что и явилось основанием для проведения дальнейших исследований [110, 121, 127, 131, 136].

По результатам выполненных исследований установлено, что при размере частиц стеклянного порошка менее 50 мкм происходит значительный рост показателей прочности, значительно превышающий показатели прочности композиций на стандартном наполнителе из кварцевого песка. Повышение показателей прочности может быть объяснено способностью высокодисперсного стекла участвовать в процессах образования новых фаз цементного камня за счет высокой удельной поверхности. Отмеченная особенность высокодисперсного стекла может быть использована как для подавления процесса щелочносиликатного взаимодействия в тех бетонных композициях, когда реакция имеет место, так и для создания вяжущих материалов на основе дисперсного стеклянного порошка [43].

При затворении водой стеклянный порошок не проявляет вяжущих свойств, и поэтому для активации реакция гидратации, необходимо использовать активатор в виде соединения  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . В щелочной среде тонкодисперсные частицы стеклянного порошка гидратируются с образованием кремниевых кислот, которые при достижении определенных значений кислотности среды начинают переходить в гелеобразное состояние. В свою очередь гель, уплотняясь, омоноличивает крупные и мелкие фракции заполнителя. Как следствие образуется плотный, прочный и долговечный композиционный материал на основе портландцемента [17].

Стекло - наиболее активная составляющая зол и шлаков. Его активность начинает проявляться с первой стадии твердения и заключается в гидролизе, для которого необходима щелочная среда. Затем образуются гидросиликаты и алюминаты кальция с основностью, зависящей от концентрации  $\text{CaO}$  в жидкой фазе [100].

Использование в технологии бетона различных щелочных активаторов является общепринятой практикой. Так, например, ученые из Таиланда [14] установили высокую эффективность использования вместо обычной воды затворения цементной пульпы заводов товарного бетона с показателем pH не менее 12.

При этом с учетом результатов исследований, изложенных в [137], только суперпластификаторы на основе полиметиленнафталинсульфонатов сохраняют свою структуру и свойства в высокощелочной среде гидроксида натрия.

В основу данной работы, раскрывающую потенциальные возможности использования стеклобоя при производстве тяжелых коррозионно-стойких бетонов, было положено теоретическое предположение о том, что молотое стекло (МС) с активатором  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (А) и известным суперпластификатором (СП-1) в составе органоминерального модификатора способно участвовать в создании бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами.

На основании вышеизложенного предложена следующая **научная гипотеза** исследования: введение в состав тяжелых бетонов органоминерального модификатора на основе тонкодисперсного стеклянного порошка способствует частичному связыванию гидроксида кальция  $\text{CaO}$  в гидросиликаты кальция C-S-H, которые омоноличивают кристаллы портландита  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , снижают капиллярную пористость кольматацией капилляров в затвердевшем бетоне, что обеспечит повышенный уровень его коррозионной стойкости.

## Выводы по разделу 1

1. Определены области применения тяжелых бетонов повышенной коррозионной стойкости и требования, предъявляемые к исходным компонентам бетонных смесей и исследуемых бетонов в зависимости от следующих классов сред эксплуатации: ХО, XF1, XF2, XF3, XF4, ХА1, ХА2.

1. На основании анализа литературных источников по теме диссертационного исследования установлено, что оптимальное сочетание высокодисперсных материалов техногенного происхождения эффективных суперпластификаторов и позволяет направленно влиять на технологические характеристики бетонных смесей, модифицировать структуру и свойства коррозионно-стойких бетонов.

2. Показано, что значительное влияние на свойства бетонных смесей и бетонов может оказывать проблема совместимости применяемых в составе бетона модификаторов и портландцемента. Кроме того, стоимость основных добавок – суперпластификаторов на основе поликарбоксилатных эфиров, а также микрокремнезема, остается достаточно высокой. Это обуславливает необходимость поиска решений по разработке составов модификаторов, основу которых составят более дешевые различные отходы промышленности, обеспечивающие получение бетонных смесей и бетонов с повышенными эксплуатационными свойствами.

3. Предполагается, что использование такого отхода как стеклобой в качестве минеральной добавки в составах бетонов возможно при условии его предварительного помола до тонкодисперсного состояния и только суперпластификаторы на основе полиметиленнафталинсульфонатов сохраняют свою структуру и свойства в высокощелочной среде гидроксида натрия.

4. На основании вышеизложенного предложена следующая **научная гипотеза** исследования: введение в состав тяжелых бетонов органоминерального модификатора на основе тонкодисперсного стеклянного порошка способствует частичному связыванию гидроксида кальция СаО в гидросиликаты кальция С-S-Н, которые омоноличивают кристаллы портландита Са(ОН)<sub>2</sub>, снижают капиллярную пористость кольматацией капилляров в затвердевшем бетоне, что обеспечит повышенный уровень его коррозионной стойкости.

## РАЗДЕЛ 2

### ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ И МЕТОДИК ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 2.1 Характеристики использованных материалов

При проведении экспериментальных исследований для приготовления цементного теста и бетонных смесей в качестве вяжущего был использован портландцемент ПЦ I-500 Н производства "ООО ДОНЦЕМЕНТ" (пгт. Новоамвросиевское, Амвросиевский район), который соответствует марки I и отвечает требованиям ГОСТ 31108-2016 "Цементы общестроительные. Технические условия". Физико-механические свойства и химико-минералогический состав клинкера портландцемента по заводским данным представлен в таблицах 2.1, 2.2, 2.3.

Таблица 2.1

#### Физико-механические свойства портландцемента

Марка портлан дцемент а	Остаток на сите 008, %	Плотнос ть, кг/м <sup>3</sup>	Тонкость помола, м <sup>2</sup> /кг	Нормаль ная густота, %	Сроки схватывания, час-мин.		Предел прочности, МПа, при	
					начало	конец	изгибе	сжатии
M500	9,4	3100	357	26,6	3-17	4-19	7,1	51,2

Таблица 2.2

#### Химический состав клинкера портландцемента

Тип цемента	Содержание оксидов, %						ППП
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	
ПЦ I-500 Н	21,40	4,79	3,79	67,18	1,28	0,32	0,66

Таблица 2.3


## Минералогический состав клинкера

Тип цемента	Содержание минералов, %			
	C <sub>3</sub> S	β-C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
ПЦ I-500 Н	65,93	11,61	6,25	11,53

В качестве минеральной добавки принят стеклянный порошок (МС), полученный помолом бытового и техногенного отхода - стеклобоя. Химический состав и свойства минеральной добавки представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.4

## Химический состав и свойства минеральной добавки

Содержание оксидов, % Физические свойства	Содержание, %	Внешний вид
SiO <sub>2</sub>	72,5	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5	
MgO	2,5	
CaO	7	
Na <sub>2</sub> O	15,5	
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2650	
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	300-400	частицы размером 15-80

В качестве мелкого заполнителя применяли природные кварцевые пески Кондрашевского песчаного карьера Луганской области (ГОСТ 8736-2014 "Песок для строительных работ. Технические условия").

Крупный заполнитель представлен щебнем Торезского карьера Донецкой области, содержание зерен игольчатой формы 12,5 % (ГОСТ 8267-93 "Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия").

Физико-механические свойства заполнителей представлены в таблице 2.5.

Таблица 2.5

## Физико-механические свойства заполнителей бетонных смесей

Наименование материала	Зерновой состав	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пустотность, %	Дробимость зерен в цилиндре, % (марка щебня по дробимости)
Щебень	Смесь фракций 5-20 мм	1403	2690	43	12,1 (1000)
Песок кварцевый	M <sub>к</sub> =1,1	1460	2660	41,4	-

В качестве химических добавок использовались: суперпластификатор "ПОЛИПЛАСТ СП-1" (ТУ 5870-005-58042865-05 с изм. №1, 2), представляющий собой смесь натриевых солей полиметиленнафталинсульфокислот различной молекулярной массы; активатор химической реакции между МС и портландцементом натрий сернокислый технический Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (ГОСТ 6318-77 "Натрий сернокислый технический"). Характеристика пластифицирующей добавки и активатора представлена таблице 2.6 и 2.7.

Таблица 2.6

## Характеристика пластифицирующей добавки

Наименование	Производитель	Внешний вид	Массовая доля активного вещества в пересчете на сухой продукт, %	Массовая доля воды, %	Показатель активности водородных ионов (рН) водного раствора пластификатора с массовой долей 2,5%	Массовая доля ионов хлора, %
ПОЛИПЛАСТ СП-1	ООО «Полипласт Новомосковск»	Жидкость темно-коричневого цвета. Допускается осадок	70	7	8,3	0,1

## Характеристика активатора

Наименование	Производитель	Внешний вид	Молярная масса г/моль	Истинная плотность (20°C), кг/см <sup>3</sup>	Растворимость в воде (20 °C), г/100 мл
НАТРИЙ СЕРНОКИСЛЫЙ $\text{Na}_2\text{SO}_4$	ООО "Укрторгсырье" г. Харьков	Порошок в виде бесцветных кристаллов	142,04	2680	19,2

**2.2 Методы и методики экспериментальных исследований**

На основании сформулированных в работе задач исследований структурно-логическая схема теоретических и экспериментальных исследований (рисунок 2.1), которая включает четыре блока: I – теоретические предпосылки получения тяжелых коррозионно-стойких бетонов, научная гипотеза; II – выбор исходных материалов, методов экспериментальных исследований; III – разработка состава органоминерального модификатора и исследование его влияния на свойства цементного теста, бетонной смеси, бетона, оптимизация состава модифицированного бетона, исследование физико-механических и эксплуатационных свойств; IV – внедрение результатов научных исследований.



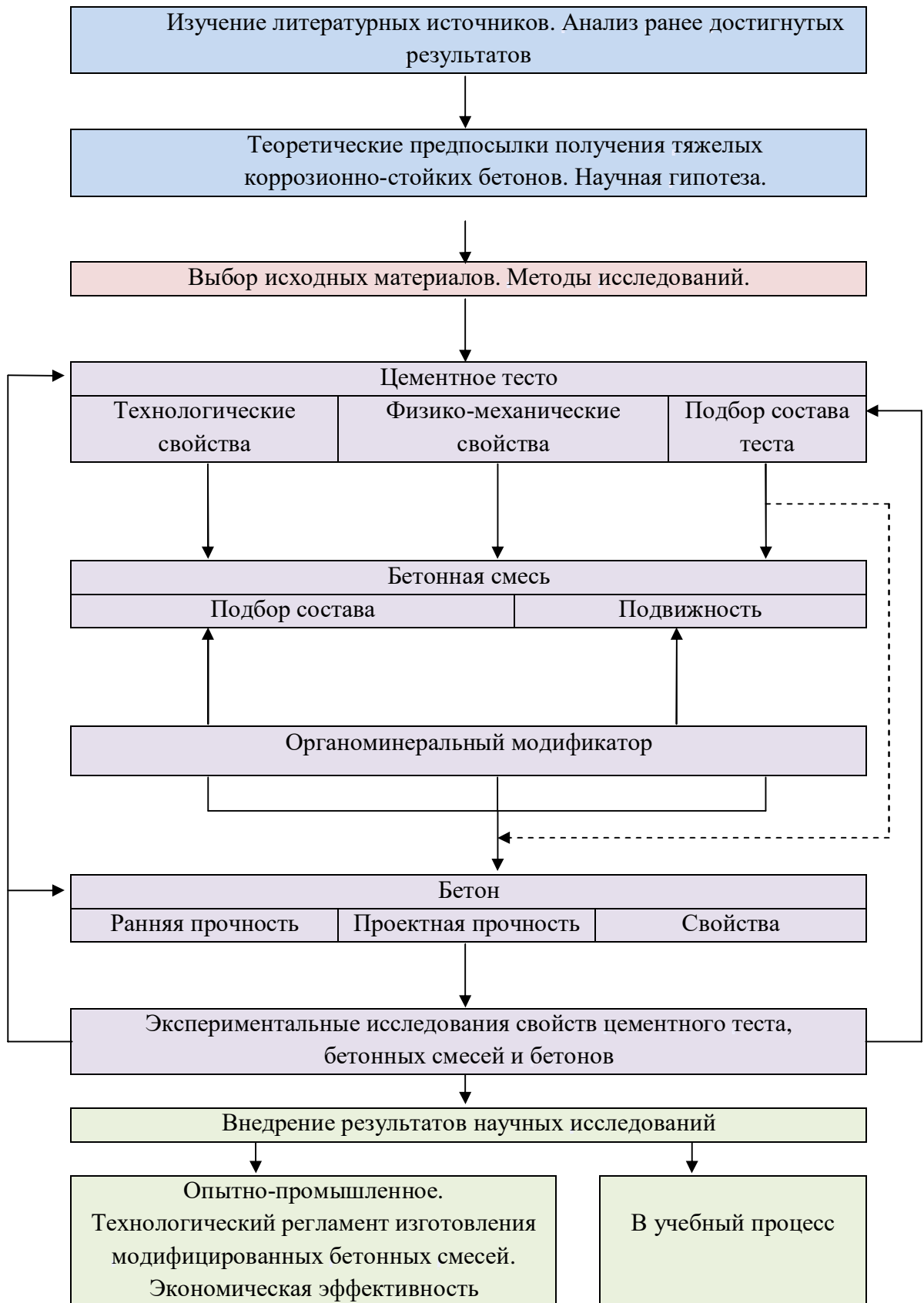


Рис. 2.1. Структурно-логическая схема проведения теоретических и экспериментальных исследований

Методика проведения исследовательских работ включала литературный обзор, анализ ранее выполненных научно-исследовательских работ и практического опыта в данном направлении.

Подготовку сырьевых материалов (сушка, помол и т.д.) осуществляли с использованием стандартного лабораторного оборудования. Физико-механические свойства вяжущих, заполнителей, минеральных добавок, цементного теста, бетонных смесей и бетонов определяли по стандартным методикам.

### **Методы исследования влияния разработанной добавки на фазовый состав цементного камня**

*Рентгенофазовые исследования образцов цементного камня выполнены на установке "Дрон-4-07" (рисунок 2.2). Условия съемки дифрактограмм (одинаковые для всех образцов): медное излучение с длиной волны  $\lambda=0,154178$  нм при ускоряющем напряжении 27 кВ и токе 15  $\mu$ А; щели для съемки  $0,5 \times 4 \times 0,25$  мм (0,5 – вертикальная коллимационная щель; 4 – горизонтальная коллимационная щель; 0,25 – щель на детекторе). Съемка дифрактограмм осуществлялась в пошаговом режиме ( $2\theta=10-80$  с шагом 0,1 и временем экспозиции 5 с).<sup>оо</sup>*

Расшифровку рентгенограмм осуществляли в соответствии с [83, 85].



Рис. 2.2. "ДРОН-4-07"

## **Оценка эффективности разработанного органоминерального модификатора**

Эффективность суперпластификатора СП-1 оценивали по ГОСТ 30459-2008 "Межгосударственный стандарт. Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности". Для оценки эффективности разработанной комплексной добавки выбрали следующие критерии, соответствующие достижению свойств бетона, обусловленных целью работы:

- подвижность бетонной смеси;
- сохраняемость подвижности бетонной смеси во времени;
- прочность бетона;
- водонепроницаемость бетона;
- морозостойкость бетона;
- коррозионная стойкость бетона;
- усадка бетона.

### **Оптимизация состава бетона по критериям прочности при сжатии и подвижности смеси**

Оптимизация состава бетона выполнена помощью программного комплекса PlanExp – Трехфакторный планированный эксперимент "B-D13"v.1.0

### **Свойства модифицированных цементного теста, бетонных смесей и бетона с разработанным органоминеральным модификатором**

*Текучесть цементного теста* определяли по диаметру расплыва теста с помощью вискозиметра Суттарда.

*Подвижность* бетонных смесей определяли в соответствии с требованиями ГОСТ 10181-2014 "Смеси бетонные. Методы испытаний" (рисунок 2.3).



Рис. 2.3. Определение подвижности бетонной смеси

*Прочность на сжатие* бетонных и цементных образцов определяли по ГОСТ 10180-2012 "Методы определения прочности по контрольным образцам". Прочностные показатели бетонов определяли на образцах-кубах с размером ребра 0,10 м в возрасте 7, 14, и 28 суток, цементного теста - с размером ребра 0,03 м в возрасте 3, 7, 14 и 28 суток. Образцы твердели в нормальных условиях при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$ , относительной влажности 90%.

*Водонепроницаемость* бетона определяли по методу «мокрого пятна» согласно ГОСТ 12730.5-84 "Бетоны. Методы определения водонепроницаемости" на образцах-цилиндрах диаметром 0,15 м, высотой 0,10 м (рисунок 2.4).

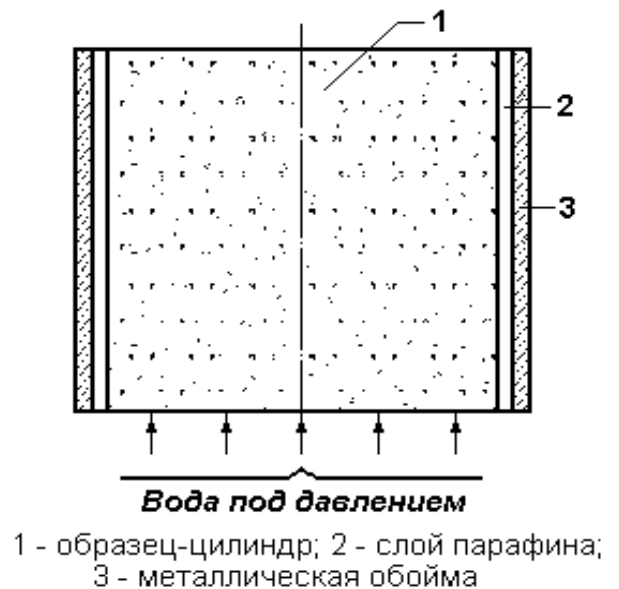


Рис. 2.4. Определение водонепроницаемости бетона

*Водопоглощение* бетона определяли согласно ГОСТ 12730.3-78 "Бетоны. Метод определения водопоглощения" на образцах-кубах с размером ребра 0,1 м.

*Деформации усадки* определяли по ГОСТ 24544-81 "Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести ". Определение показателей деформаций усадки бетона при высыхании производили на призматических образцах с размерами  $0,07 \times 0,07 \times 0,28$  м, изолированных от влагообмена с окружающей средой, согласно ГОСТ 24544-81 (рисунок 2.5).



Рис. 2.5. Устройства для определения деформаций усадки образцов бетона - тензометр Аистова

*Морозостойкость* бетона определяли в проектном возрасте стандартным методом ГОСТ 10060-2012 "Бетоны. Методы определения морозостойкости" ускоренным методом в соляном растворе.

*Коррозионная стойкость* определялась согласно ГОСТ 27677-88 "Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний".

Для испытаний изготавливали образцы-кубы с размером ребра 0,10 м и призмы размером 0,1×0,1×0,4 м. Образцы твердели 3 суток на влажном воздухе и 25 суток в воде при температуре  $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Образцы после изготовления и твердения помещались в неагрессивную и агрессивную среды параллельно. Образцы помещались таким образом, чтобы был обеспечен равномерный доступ агрессивной среды к образцам со всех сторон.

В процессе испытаний устанавливали изменения показателей образцов параллельно в агрессивной и неагрессивной средах. Определяли показатели

бетонных образцов по прочности на сжатие, растяжение при изгибе и водонепроницаемости.

В качестве агрессивной среды использовали: раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с водородным показателем  $\text{pH}=3$  (ГОСТ 31383-2008 "Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний"); раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в пересчете  $\text{SO}_4^{2-}$  -  $10000 \text{ мг/л}^{-1}$  (ГОСТ 27677-88 "Защита от коррозии в строительстве. Бетоны. Общие требования к проведению испытаний"); дистиллированную воду (ГОСТ 6709-72 "Вода дистиллированная. Технические условия").

Таким образом, моделировалась кислотная, сульфатная коррозия и коррозия выщелачивания. Неагрессивная среда – питьевая вода (ГОСТ Р 51232-98 "Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества"). Образцы испытывали в сроки 1, 2, 3, 4, 5, 6 месяцев после выдерживания в агрессивной среде.

Критерием оценки коррозионной стойкости бетона принято изменение показателей предела прочности при сжатии и растяжении при изгибе.

$$KC = \frac{R_{сж}^{агр}}{R_{сж}^{конт}} \quad (2.1)$$

$R_{сж}^{агр}$  – предел прочности при сжатии образцов выдержанных в агрессивной среде, МПа;  $R_{сж}^{конт}$  – предел прочности при сжатии образцов выдержанных в дистиллированной воде, МПа.

$$KC = \frac{R_{изг}^{агр}}{R_{изг}^{конт}} \quad (2.2)$$

$R_{изг}^{агр}$  – предел прочности при растяжении на изгиб образцов выдержанных в агрессивной среде, МПа;  $R_{изг}^{конт}$  – предел прочности при растяжении на изгиб образцов выдержанных в дистиллированной воде, МПа.

Критерием по водонепроницаемости является обеспечение требуемой ее марки.



## Выводы по разделу 2

1. Разработана структурно-логическая схема теоретических и экспериментальных исследований, которая включает четыре блока: I – теоретические предпосылки получения тяжелых коррозионно-стойких бетонов, научная гипотеза; II – выбор исходных материалов, методов экспериментальных исследований; III – разработка состава органоминерального модификатора и исследование его влияния на свойства цементного теста, бетонной смеси, бетона, оптимизация состава модифицированного бетона, исследование физико-механических и эксплуатационных свойств; IV – внедрение результатов научных исследований.

2. В результате проведения экспериментальных исследований в качестве материалов для приготовления цементного теста и бетонных смесей приняты следующие материалы: портландцемент ПЦ I-500 Н производства "ООО ДОНЦЕМЕНТ" (пгт. Новоамвросиевское, Амвросиевский район), который отвечает требованиям ГОСТ 31108-2016 "Цементы общестроительные. Технические условия"; заполнители: щебень Торезского карьера, песок кварцевый Кондрашевского песчаного карьера; в качестве компонентов органоминерального модификатора приняты: минеральная добавка стеклянный порошок (МС); химические добавки - суперпластификатор "ПОЛИПЛАСТ СП-1" и натрий сернокислый.

3. При проведении экспериментальных исследований использовались стандартные методы исследований. Структурообразование и состав продуктов гидратации модифицированных цементных композитов с помощью современных методов анализа рентгеновской дифрактометрии.

### РАЗДЕЛ 3

## ВЛИЯНИЕ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНОГО МОДИФИКАТОРА НА СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА И ПРОЦЕССЫ ГИДРАТАЦИИ ЦЕМЕНТА

### 3.1 Влияние органоминерального модификатора на подвижность цементного теста

Потеря подвижности бетонной смеси на строительной площадке – одна из главных причин, которая приводит к неоднородности прочности и снижению долговечности бетона в конструкциях. Некоторые комбинации "ПЩ – СП" обеспечивают поддержание требуемой удобоукладываемости бетонной смеси в течение часа и больше, другие – после 10...15 минут проявляют склонность к резкому снижению подвижности [104].

Кроме того, по мнению профессора А.В. Ушерева-Маршака [84] при формировании составов комплексных добавок важным является учет химических и коллоидно-химических явлений аддитивности, синергизма или антагонизма при взаимодействии добавок различной природы. Многие причины несовместимости добавок остаются не изученными, например, воздухововлекающие добавки плохо проявляют свои свойства в присутствии добавок, снижающих усадку [85], а суперпластификаторы в присутствии водоудерживающих добавок (эфир целлюлозы). В диссертации Н.М. Зайченко [34] значительное внимание уделено порядку приготовления бетонных смесей с комплексными органоминеральными модификаторами – последовательностью добавления модификаторов в состав бетонной смеси при перемешивании.

Эффективность суперпластификаторов проявляется в их способности сохранять реологические свойства бетонных смесей в течение времени, необходимого для формирования изделий, а также в минимизации замедляющего эффекта на процессы схватывания и твердения бетонных смесей и бетонов.



Известно, что суперпластификаторы в виде анионных полиэлектролитов на основе продуктов конденсации нафталин(меламин)сульфокислоты с формальдегидом не обеспечивают требуемый уровень текучести бетонных смесей в течение длительного времени. Быстрая потеря подвижности в основном связана с повышением ионной силы раствора цементного теста в процессе гидратации, что приводит к рефлуккуляции частиц вследствие ван-дер-ваальсового взаимодействия, а также с низким вкладом эффекта стерического отталкивания.

Порядок смешивания компонентов определяется ГОСТ 24211-2008 "Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия", а также ранее существовавшими нормативными документами, которые рекомендуют вводить химические добавки в бетонную смесь с водой затворения, а при применении суперпластификаторов их водный раствор возможно вводить в предварительно перемешанную с большей частью воды бетонную смесь.

В этой связи необходимо установить наиболее эффективный порядок приготовления цементного теста для достижения максимальных показателей технологических свойств.

Технологические свойства модифицированного цементного теста, в частности текучесть и ее потерю во времени определяли по диаметру расплыва теста.

Для исследований приняты два варианта составов цементного теста (без и с активатором):

- 1) (ПЦ + МС) +(В+СП-1);
- 2) (ПЦ + МС+СН) +(В+СП-1).

На этапе исследования сохраняемости текучести цементного теста в течение определенного периода использовались материалы, представленные во втором разделе.

Текучесть цементного теста определяли с помощью вискозиметра Суттарда. Составы и порядок приготовления представлены в таблице 3.1. Контрольным составом является состав №1.

Таблица 3.1

## Состав и порядок приготовления цементного теста

Состав	Порядок приготовления цементного теста	В/Т	ПЦ, гр.	Расход компонентов, % от $m_{ц}$		
				МС	СП-1	А
№1	ПЦ+[В+СП-1]	0,25	400	-	0,6	-
№2	[ПЦ+МС]+[В+СП-1]	0,27	400	4	0,6	-
№3	[ПЦ+МС+СН]+[В+СП-1]	0,26	400	4	0,6	1
№4	[ПЦ+МС]+[В+СП-1]	0,29	400	12	0,6	-
№5	[ПЦ+МС+СН]+[В+СП-1]	0,28	400	12	0,6	1
№6	[ПЦ+МС]+[В+СП-1]	0,32	400	20	0,6	-
№7	[ПЦ+МС+СН]+[В+СП-1]	0,30	400	20	0,6	1

Как следует из данных, представленных на рисунках 3.1, 3.2, 3.3, начальная текучесть цементного теста, которая характеризуется диаметром расплыва без добавки молотого стекла (состав №1), и в данном случае является контрольным, через 15 минут выдерживания составляет 268 мм и в течение последующих 75 мин. текучесть снижается до 241 мм, в то время как текучесть составов, содержащих органоминеральный модификатор, и в 15 и 90 минутные сроки выше. Вероятно, это связано с интенсивной адсорбцией суперпластификатора высокодисперсными продуктами гидратации трехкальциевого алюмината. В то же время, цементное тесто, содержащее сульфат натрия (составы №3, 5, 7), имеет менее выраженный характер потерь текучести по сравнению с составами без этого активатора. Как отмечено выше, это может быть связано с конкурентной адсорбцией анионов сульфата натрия и сульфогрупп полиметиленафталинсульфоната, в результате чего снижается адсорбция суперпластификатора, что обеспечивает более стабильную текучесть цементного теста в процессе его выдерживания после приготовления.

Скорость потерь текучести цементного теста с добавкой молотого стекла менее выражена, что связано с меньшей адсорбционной способностью тонкодисперсного стекла в сравнении с цементом.

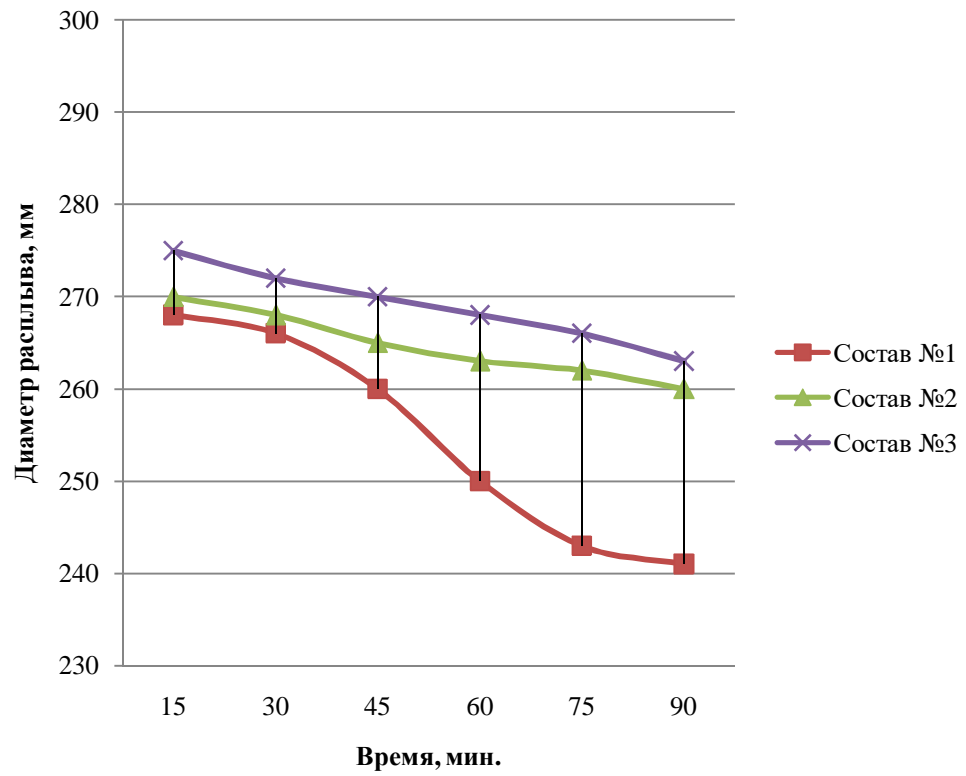


Рис. 3.1. Изменение текучести цементного теста во времени

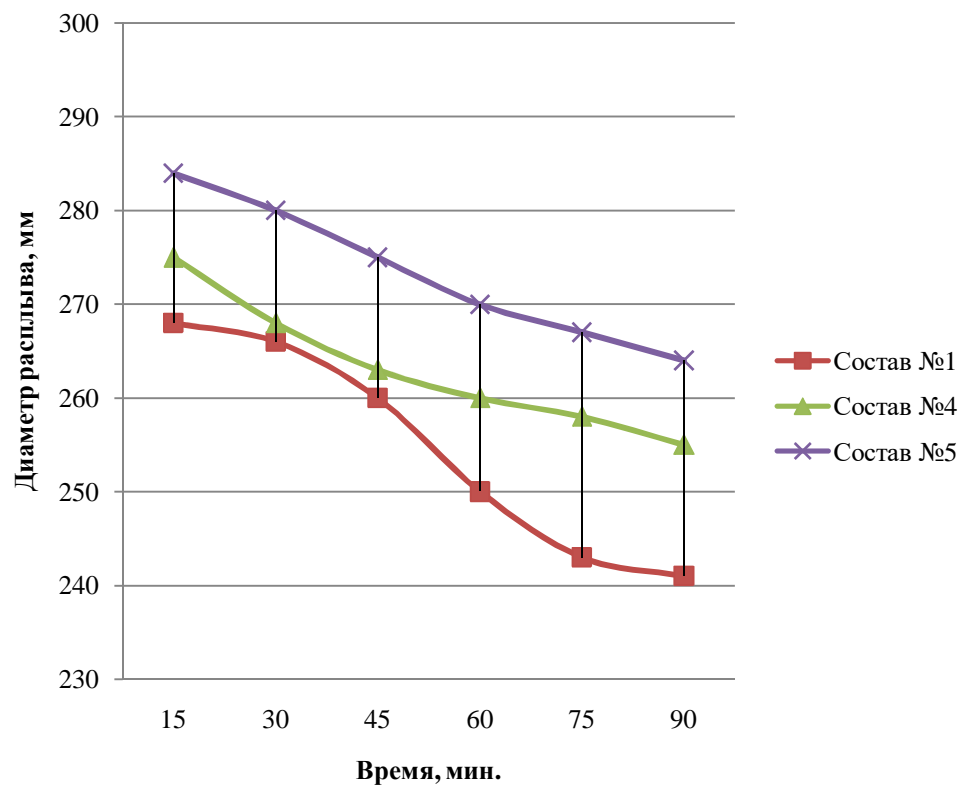


Рис. 3.2. Изменение текучести цементного теста во времени

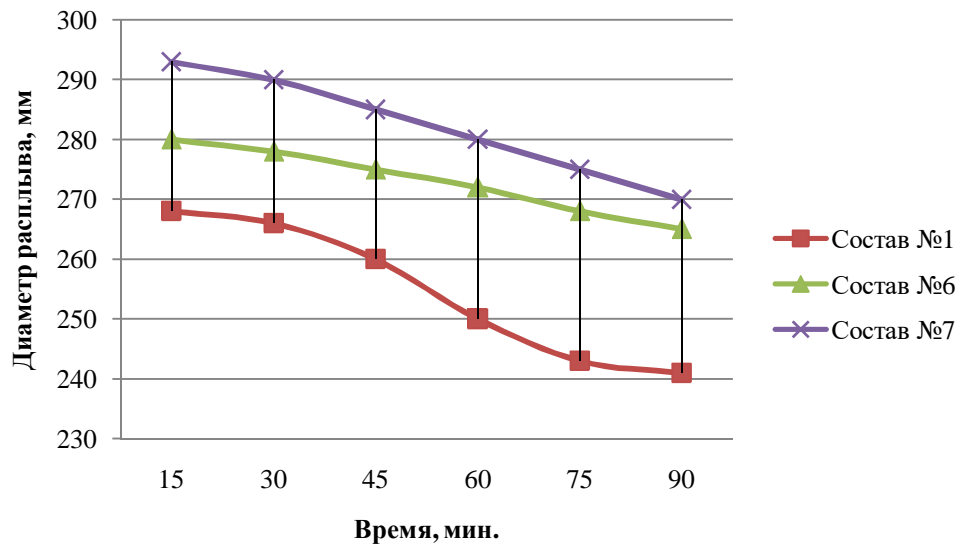


Рис. 3.3. Изменение текучести цементного теста во времени

Установлено, что наличие в составе модификатора сульфата натрия обеспечивает меньшее снижение текучести во времени цементного теста, состав №3, 5, 7 на 1,1%, 3,5%, 1,9% соответственно в течение 90 минут выдержки, по сравнению с составом без сульфата натрия (состав №2, 4, 6) (рисунок 3.1, 3.2, 3.3). Это связано, как указано выше, с конкуренцией анионов  $SO_4^{2-}$  и сульфогрупп полиметиленафталинсульфоната за центры адсорбции поверхности портландцемента и минеральных добавок, в результате чего в жидкой фазе остается большее количество неадсорбированного суперпластификатора. В цементном тесте (состав №1) эффект суперпластификатора на сохраняемость текучести выражен в значительно меньшей мере (рисунок 3.1, 3.2, 3.3).

Также следует отметить наибольшую начальную и конечную текучесть у состава №7, содержащего наибольшее количество молотого стекла. Просматривается тенденция увеличения текучести как начальной, так и конечной с увеличением в цементном тесте концентрации молотого стекла.

Таким образом, применение суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната совместно с молотым стеклом и сульфатом натрия может обеспечить необходимые технологические показатели сохраняемости текучести цементного теста.

### 3.2 Прочностные свойства цементного камня с органоминеральным модификатором

Для определения влияния органоминерального модификатора на прочностные характеристики цементного камня экспериментальные исследования выполнены на образцах, составы которых приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Составы образцов цементного камня

Состав	Компоненты цементного камня				
	ПЦ, гр.	СП-1, %	МС, %	А, %	В/Т
№1	400	0,6	-	-	0,25
№2	400	0,6	2	-	0,26
№3	400	0,6	2	1	0,25
№4	400	0,6	4	-	0,27
№5	400	0,6	4	1	0,26
№6	400	0,6	6	-	0,28
№7	400	0,6	6	1	0,27
№8	400	0,6	8	1	0,27
№9	400	0,6	10	1	0,28
№10	400	0,6	15	1	0,29
№11	400	0,6	20	-	0,32
№12	400	0,6	20	1	0,30
№13	400	0,6	40	-	0,34
№14	400	0,6	40	1	0,32

Результаты экспериментальных исследований прочностных показателей образцов цементного камня представлены в таблице 3.3. и как более наглядная информация на рисунке 3.4.

Таблица 3.3

## Показатели прочности образцов цементного камня

Состав	Предел прочности при сжатии МПа, сутки			
	3	7	14	28
№1	40,7	60,0	64,6	65,3
№2	48,1	55,5	62,9	73,5
№3	51,0	63,4	70,2	74,9
№4	53,8	60,0	72,5	76,5
№5	54,3	63,4	80,5	83,3
№6	45,8	60,7	70,3	72,7
№7	51,0	62,8	76,9	79,9
№8	50,0	61,2	76,8	77,4
№9	48,6	54,4	68,3	76,5
№10	47,0	53,3	67,4	73,8
№11	38,5	46,5	64,6	67,2
№12	46,4	49,9	66,9	68,5
№13	18,0	22,7	23,8	37,4
№14	26,6	34,0	37,4	51,0

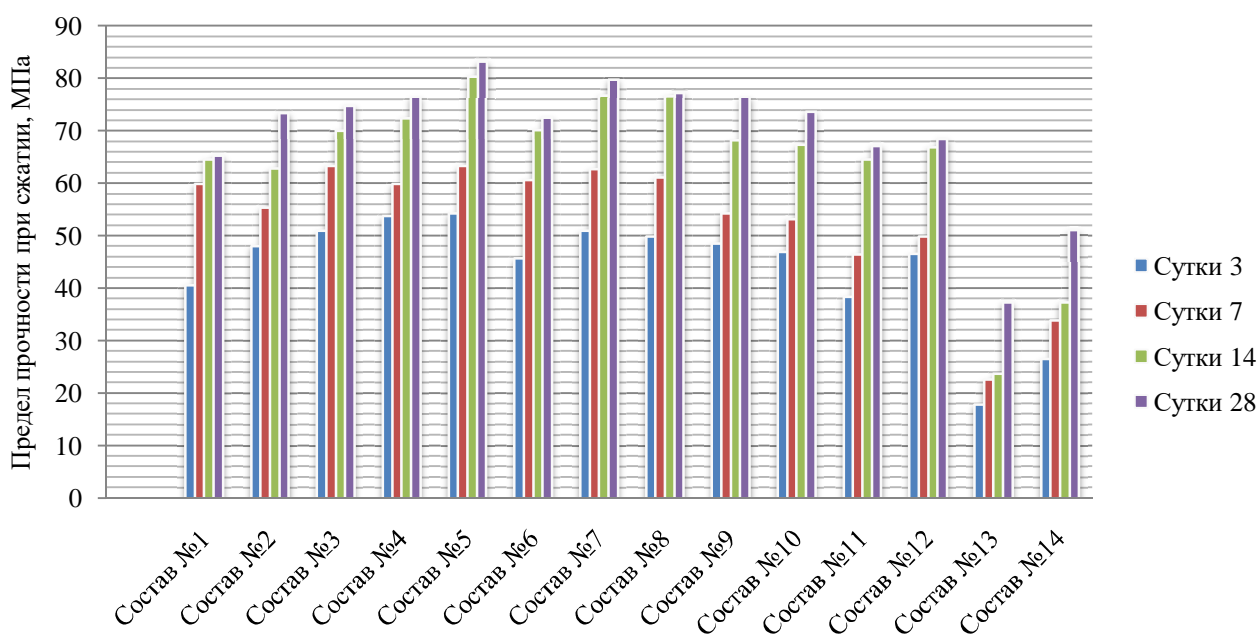


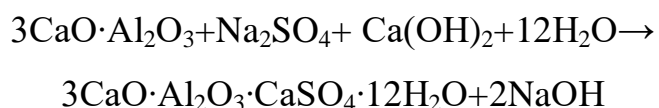
Рис. 3.4. Зависимость прочности цементного камня от состава и длительности твердения

Сравнивая составы без активатора и с активатором сульфатом натрия установлено, что составы с активатором (составы №3, 5, 7, 12, 14) показали большую прочность, чем составы без него. Это связано с тем, что молотое стекло при затворении водой не проявляет вяжущих свойств, и для активации реакции

гидратации необходимо вводить в состав активатор в виде соединения щелочного металла.

Исходя из полученных результатов экспериментальных исследований, следует, что органоминеральный модификатор, состоящий из молотого тонкодисперсного стекла в комплексе с суперпластификатором и активатором в составе цементного камня повышает как раннюю, так и марочную прочность.

Разницу прочности цементного камня с вводом в состав органоминерального модификатора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  и без, можно объяснить влиянием активатора на растворимость исходных компонентов вяжущего, что обеспечивает возможность более интенсивного протекания реакций в жидкой фазе с образованием кристаллогидратов кальцийсодержащих минералов, растворимость которых в воде очень мала. Создаются условия, обеспечивающие большие перенасыщения для новообразований, что обуславливает выкристаллизовывание мелких образований новой фазы, их дальнейший рост и срастание между собой. Сульфат натрия взаимодействуя с  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  и  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ , образует высокодисперсный гидросульфоалюминат кальция  $\text{NaOH}$  по схеме



Образовавшийся высокодисперсный гидросульфоалюминат выполняет роль кристаллической затравки и ускоряет гидратацию цементных минералов,  $\text{NaOH}$  активизирует стекловидную фазу. В результате образуется цементный камень с высокой прочностью. Выше сказанное подтверждается проведенными экспериментальными исследованиями, результаты которых представлены в таблице 3.3 и на рисунке 3.4.

Как следует из данных таблицы 3.3 и рисунка 3.4, прочность цементного камня с добавкой тонкодисперсного стекла, при концентрации его в пределах от 2% до 20% от массы цемента (составы №2...12), выше по сравнению с контрольным (состав №1). Так у составов №2...12 прирост прочности, как в ранние, так и поздние сроки, от 3 до 33%.

Результаты исследования кинетики твердения цементного камня составов № 1, 2, 3, 4, 5, 11, 12 в возрасте 3, 7, 14, 28 суток нормального твердения свидетельствуют о положительном влиянии органоминерального модификатора на показатель предела прочности при сжатии цементного камня как в ранние, так и поздние сроки твердения (рисунок 3.5, 3.6, таблица 3.3).

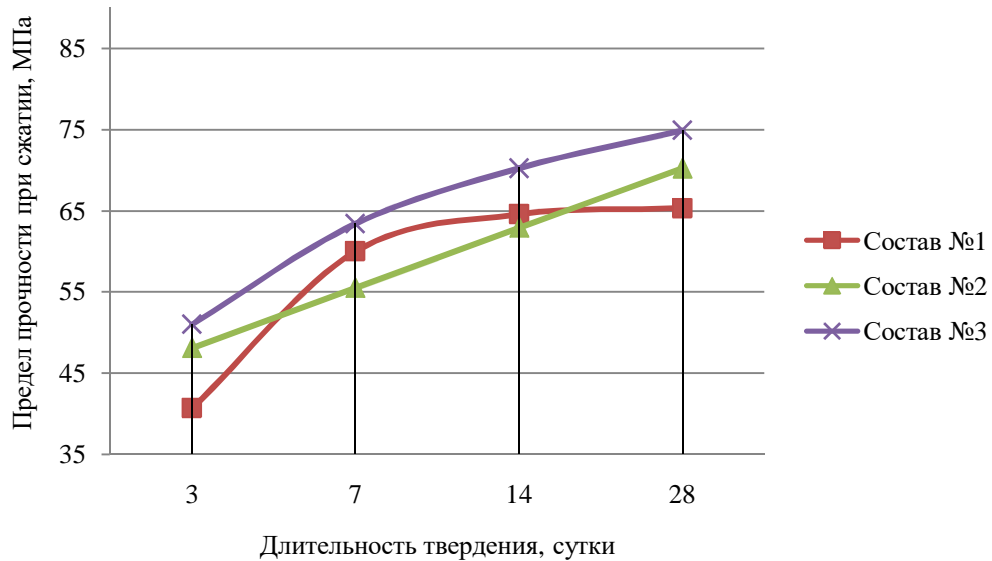


Рис. 3.5. Кинетика роста прочности цементного камня

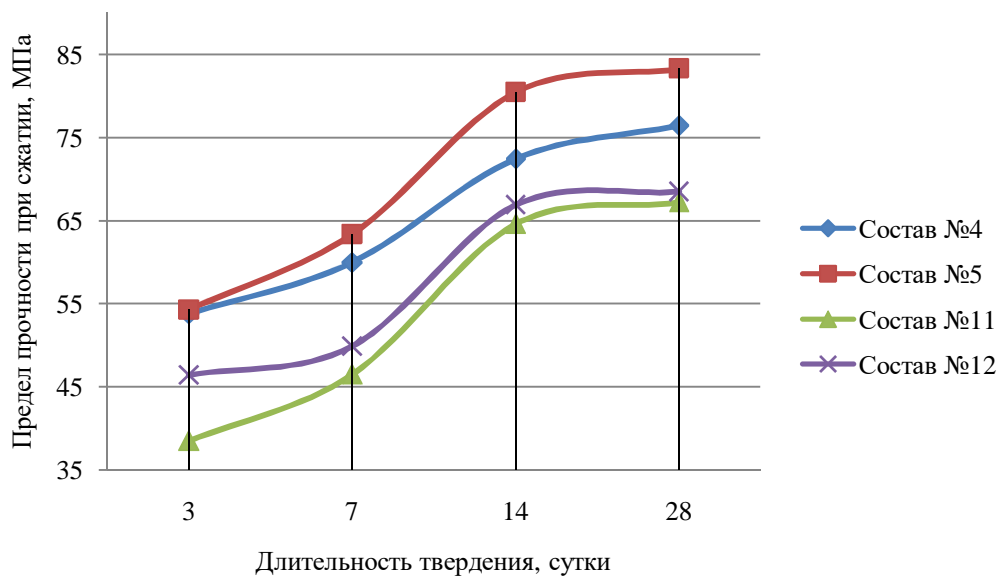


Рис. 3.6. Кинетика роста прочности цементного камня



Для составов цементного камня с добавкой молотого стекла, активизированного сульфатом натрия (составы №3, 5, 12), относительный прирост прочности в сравнении с контрольным составом №1 составляет: 3сут. – 25,3; 33,4; 14,0%; 7 сут. – 5,6; 5,6; 17%; 14 сут. – 8,6; 24,6; 3,5%; 28 сут. – 14,7; 27,5; 4,9%. Более высокие значения прочности цементного камня с активатором связаны с активацией химической реакции тонкодисперсного стекла. В то же время показатели прочности цементного камня образцов составов №13 и №14 (МС =40%) ниже, чем у контрольного.

Проанализировав вышесказанное, можно сделать вывод, что использование молотого стекла в интервале 2...20% от массы цемента в составе органоминерального модификатора положительно влияет на прочность цементного камня. В тоже время, следует отметить, что составы №3, 5, 7, 12 с активатором  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  показали более высокую прочность, чем составы №2, 4, 6, 11 без активатора.

### **3.3 Влияние активатора в составе органоминерального модификатора на прочность цементного камня**

Согласно нормативных документов введение количества добавки сульфата натрия колеблется в пределах 0,5...2% от массы цемента, и в каждом случае его применения может подбираться индивидуально.

Оптимальная концентрация активатора в составе органоминерального модификатора определяли по критерию прочности образцов цементного камня, составы которых представлены в таблице 3.4. Составы были объединены в группы №1, 2 и 3 по содержанию МС в цементном тесте соответственно 4, 12 и 20%.

Таблица 3.4

Состав цементного камня и его прочностные показатели в зависимости от  
количества активатора

№ группы составов	Состав	Компоненты цементного камня					Прочность при сжатии МПа, сутки			
		ПЦ, гр.	СП-1, %	МС, %	А, %	В/Т	3	7	14	28
К	К	400	0,6	-	-	0,25	40,0	55,4	62,4	65,1
1	№1	400	0,6	4	0,5	0,26	55,5	61,6	73,8	78,4
	№2	400	0,6	4	1,0	0,26	56,1	63,5	79,0	82,4
	№3	400	0,6	4	2,0	0,26	54,8	60,5	72,8	77,3
2	№4	400	0,6	12	0,5	0,28	46,1	50,6	63,3	73,2
	№5	400	0,6	12	1,0	0,28	49,4	60,5	66,4	75,5
	№6	400	0,6	12	2,0	0,28	45,1	48,4	63,0	72,1
3	№7	400	0,6	20	0,5	0,30	42,3	46,0	63,1	65,8
	№8	400	0,6	20	1,0	0,30	45,5	48,2	64,5	67,6
	№9	400	0,6	20	2,0	0,30	41,4	45,5	62,4	65,2

Анализируя результаты исследований влияния концентрации активатора  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (0,5...2% от массы цемента) в составе органоминерального модификатора на прочность образцов цементного камня, можно сделать вывод, что оптимальная концентрация активатора – это 1% от массы цемента, что иллюстрируется наибольшими показателями прочности внутри каждой группы составов цементного камня.

Это можно объяснить тем, что влияние активатора проявляется не только на образование пленок и присутствие его в поровой жидкости, но и на более позднем этапе, когда образовавшаяся пленка экранирует зерна вяжущих. При этом сульфат натрия, как и любой другой сильный электролит, не содержащий одноименных с материалом пленки ионов, повышает до известного предела (зависящего от его концентрации) растворимость, а следовательно, проницаемость и долговечность пленки, в результате увеличения ионной силы раствора, кроме того сульфат натрия ускоряет твердение полугидрата сульфата кальция. Отклонение от оптимальной концентрации  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в сторону большей или меньшей снижает

экранирующее действие пленок, что подтверждают исследования, результаты которых приведены в таблице 3.4 и рисунке 3.7.

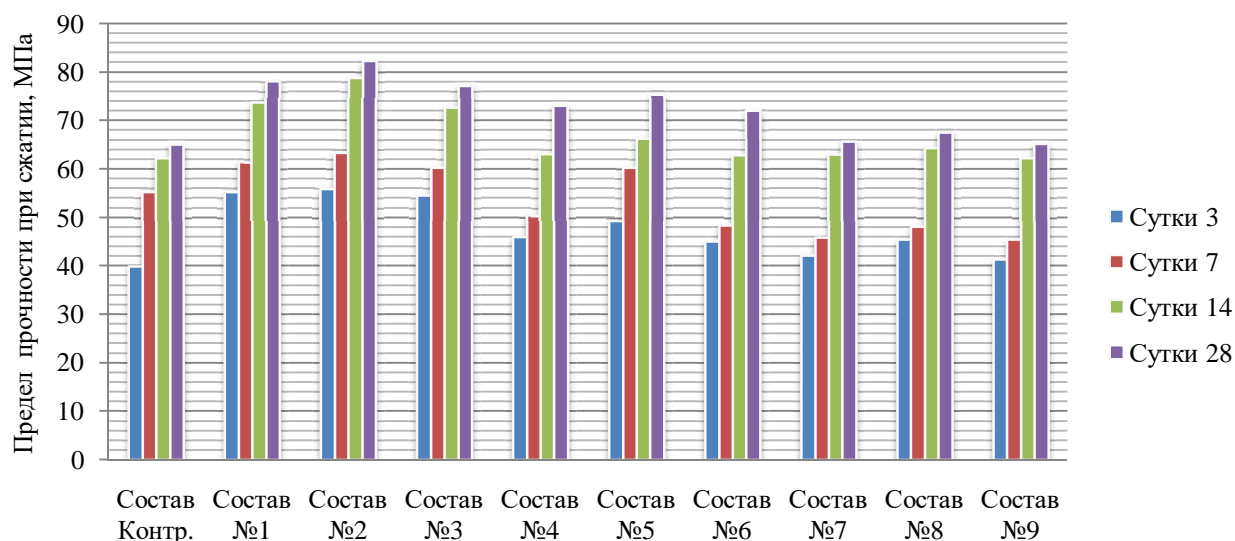


Рис. 3.7. Показатели прочности цементного камня в зависимости от состава и длительности твердения

### 3.4 Влияние органоминерального модификатора на процессы гидратации цемента

Для исследований процессов гидратации были приняты составы с активатором и массовой концентрацией стеклянного порошка МС=4, 12, 20%.

Составы растворов для изготовления образцов цементного теста для рентгенофазового анализа приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Состав цементного камня для рентгенофазового анализа

Наименование компонента	Ед. изм.	Состав			
		К	№1	№2	№3
Портландцемент ПЦ-500	г	400	400	400	400
Стекланный порошок (МС)	%	-	4,0	12,0	20,0
Суперпластификатор	%	0,6	0,6	0,6	0,6
Активатор ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )	%	-	1,0	1,0	1,0
В/Ц	-	0,25	0,26	0,28	0,30

По данным рентгенофазового анализа для цементного камня с добавкой органоминерального модификатора (№1, 2, 3) и контрольного состава, твердевших в течение 3 суток, отмечены изменения в интенсивности дифракционных отражений минерала алита: снижение интенсивностей линий  $d=0,277$ ;  $0,177$ ;  $0,153$ ;  $0,149$ ;  $0,148$  нм (рисунок 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, таблица 3.6), характеризующие степень гидратации портландцемента.

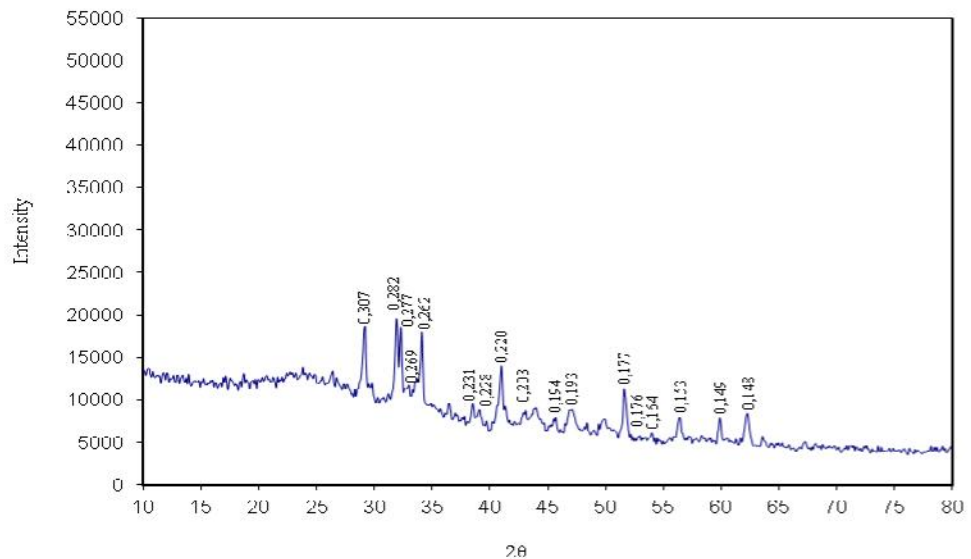


Рис. 3.8. Рентгенограмма образца камня вяжущего контрольного состава в возрасте 3 суток

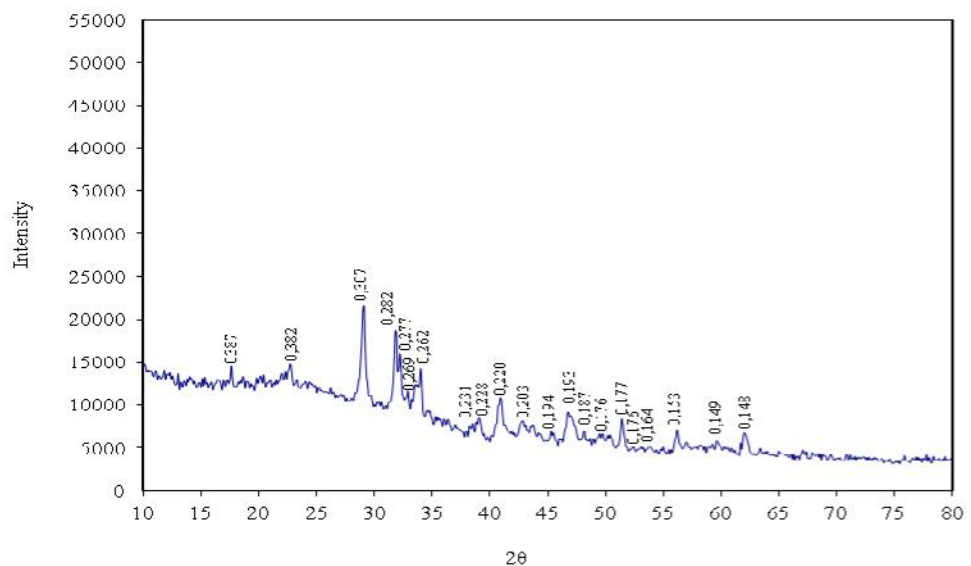


Рис. 3.9. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 1 в возрасте 3 суток (содержание МС=4%)

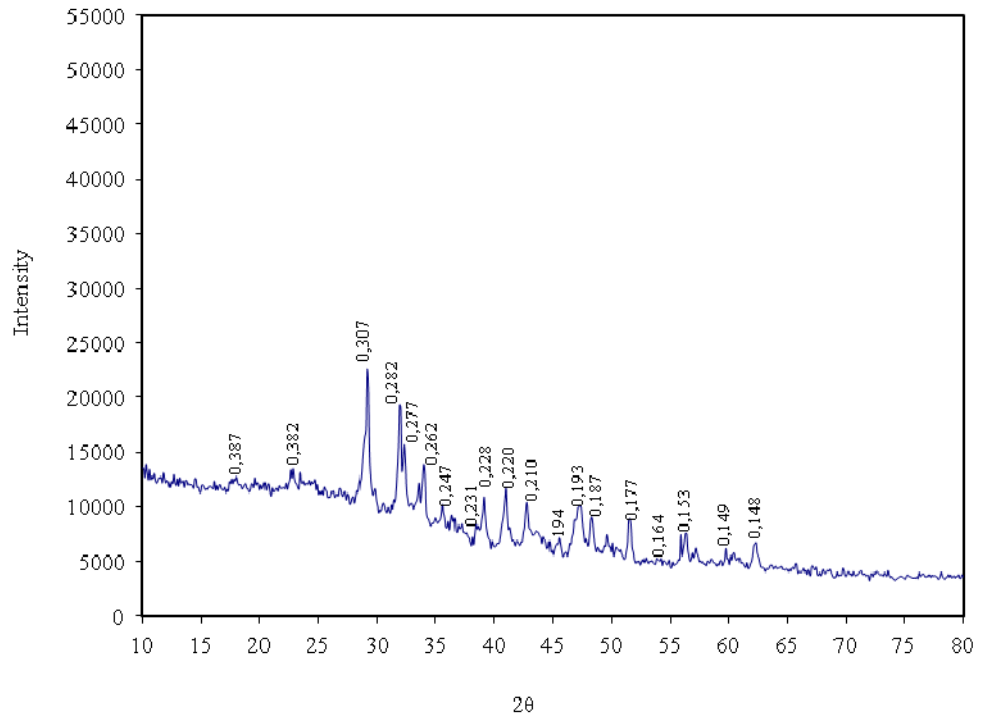


Рис. 3.10. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 2 в возрасте 3 суток (содержание МС=12%)

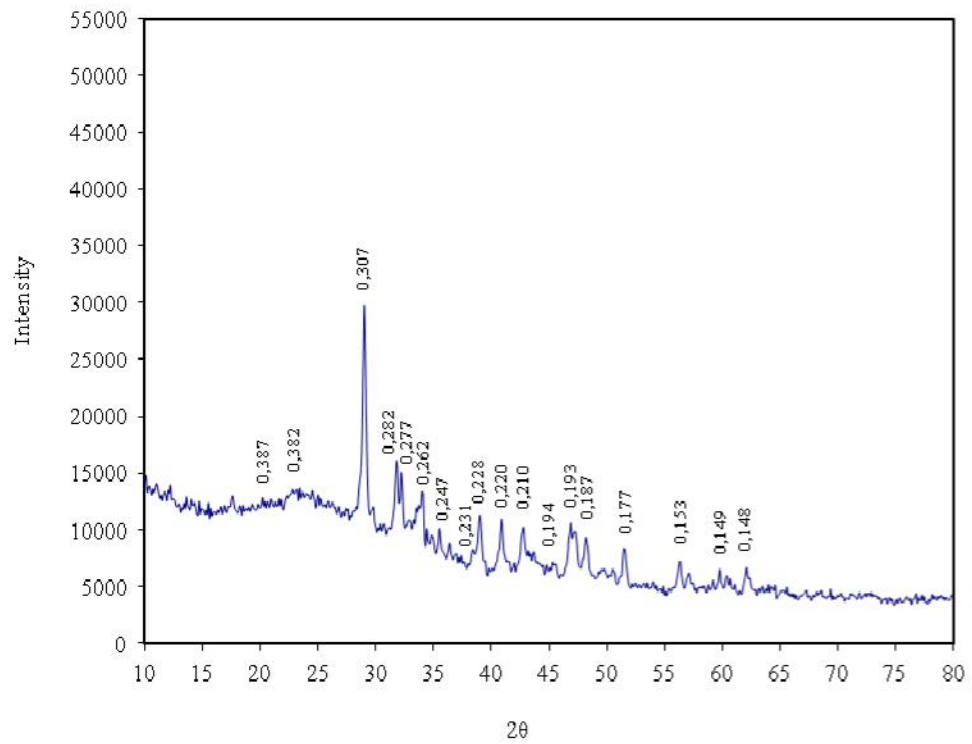


Рис. 3.11. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 3 в возрасте 3 суток (содержание МС=20%)

Интенсивность дифракционных отражений минералов Таблица 3.6

2q	d, нм	Интенсивность для проб образцов (№ состава – сроки твердения)															
		K-3	K-7	K-14	K-28	1-3	1-7	1-14	1-28	2-3	2-7	2-14	2-28	3-3	3-7	3-14	3-28
Алит – 54CaO16SiO <sub>2</sub> >>Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >MgO																	
32,6 6	0,27 7	94,5	45,6	22,5	21,4	74,5	56,9	51,7	12,8	76,3	49,7	48,6	47,8	58,8	28,0	20,6	16,8
38,4 6	0,23 1	31,1	15,7	-	-	13,8	12,4	-	-	23,6	-	-	-	9,0	-	-	-
50,2 6	0,17 7	68,6	33,2	24,0	23,8	41,8	25,8	-	-	45,5	33,5	29,0	-	39,5	23,1	19,2	18,0
54,2 0	0,16 4	11,0	9,8	-	-	9,7	7,7	-	-	7,9	-	-	-	-	-	-	-
56,1 8	0,15 3	32,1	27,9	26,3	25,7	28,8	20,8	-	-	30,5	15,9	15,2	-	28,8	20,2	18,4	-
60,1 8	0,14 9	30,1	13,5	12,8	11,6	14,7	13,4	-	-	18,4	12,7	10,7	10,0	20,5	10,9	-	-
62,1 8	0,14 8	44,3	28,5	23,8	21,4	30,2	26,8	24,1	23,2	29,5	29,0	24,4	24,3	27,9	22,2	-	-
Портландит – Ca(OH) <sub>2</sub>																	
17,9	0,49 2	-	-	-	-	-	177, 6	135, 4	-	-	112, 8	92,8	-	-	-	-	-
34,6 0	0,26 2	95,4	41,8	33,9	24,7	62,3	109, 0	125, 5	24,8	62,5	90,7	65,8	46,6	49,5	25,1	21,4	25,0
46,7 0	0,19 3	32,7	51,8	125, 6	126, 7	45,4	74,9	87,1	35,0	52,7	53,1	55,1	56,7	50,4 5	99,2	85,2	81,9
50,3 6	0,17 9	-	-	-	-	-	30,3	40,4	41,2	-	29,0	21,3	32,4	-	19,7	-	-
54,2 2	0,16 3	-	-	-	-	-	-	27,2	30,2	-	-	-	13,7	-	-	30,4	-
58,2 0	0,15 5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,7	-	-	-	-
С – S – Н (Гидросиликат кальция C <sub>2</sub> SH(II) – 2CaOSiO <sub>2</sub> >>2H <sub>2</sub> O; Гидросиликат кальция C <sub>3</sub> SH <sub>2</sub> – 3CaOSiO <sub>2</sub> >>2H <sub>2</sub> O)																	
22,6 5	0,38 2	-	27,9	28,2	34,9	23,2	20,9	-	-	22,4	-	-	23,9	14,6	28,9	29,4	35,0
28,8 3	0,30 7	100	121, 2	135, 9	149, 2	133, 9	81,2	187, 5	195, 2	186, 4	213, 1	225, 7	241, 5	226, 1	237, 3	290, 6	295, 0
35,1 8	0,24 7	-	30,5	47,4	53,7	-	5,5	-	25,3	23,8	-	21,0	17,4	27,9	39,9	41,3	42,7
40,4 2	0,21 9	-	-	-	-	-	-	48,9	33,4	-	45,4	39,5	42,1	-	-	-	-
42,3 6	0,21 0	-	47,8	73,4	75,8	-	25,9	-	37,0	39,8	-	32,0	38,7	46,5	50,9	62,2	67,0
48,3 6	0,18 7	-	31,9	81,6	97,0	16,6	-	-	-	30,4	-	-	-	35,8	57,8	64,5	94,0
56,2 3	0,16 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,7
64,1 8	0,14 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	43,1
68,7 0	0,13 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	78,1
Гидроалюминаткальция C <sub>3</sub> AlH <sub>6</sub> – 3CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >6H <sub>2</sub> O																	
31,7 8	0,28 2	104, 7	49,9	40,8	45,5	105, 9	97,4	80,0	47,1	118, 4	75,7	65,4	98,5	71,2	46,6	27,2	27,1
39,0 4	0,22 8	25,9	47,8	89,7	95,2	28,0	16,4	-	-	53,8	-	24,6	47,7	58,7	63,9	83,7	84,7
42,8 9	0,20 3	21,9	-	-	-	22,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Этtringит – 3CaOAl <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >3CaSO <sub>4</sub> >32H <sub>2</sub> O																	
12,1 4	0,72 0	-	-	-	41,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23,2 4	0,38 7	-	-	-	-	26,5	-	-	-	15,3	6,6	-	-	17,8	-	-	-
32,7 0	0,26 9	11,1	-	-	-	16,9	-	-	-	-	11,7	-	-	-	-	-	-
34,8 0	0,26 1	-	-	-	-	-	22,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40,4 0	0,22 0	85,5	46,5	28,6	23,4	56,1	41,6	-	-	61,4	-	-	-	55,7	37,2	15,1	13,3
46,3 2	0,19 4	20,7	-	-	-	16,7	-	-	-	18,9	15,7	-	-	13,4	-	-	-
50,2 6	0,17 6	10,2	-	-	-	9,4	-	39,6	19,3	9,8	-	-	-	9,2	-	-	-

Одновременно наблюдается снижение/повышение интенсивности дифракционных отражений, характерных для образующегося в процессе гидратации портландцемента минерала портландита:  $d=0,262/ 0,193$  нм относительно контрольного состава. Снижение объясняется связыванием гидроксида кальция в гидросиликаты кальция, что подтверждает повышение интенсивности дифракционных отражений линий гидросиликатов кальция C–S–H:  $d=0,382; 0,307; 0,247; 0,210; 0,187$  нм, которое еще связано с добавлением в состав № 1, 2, 3 органоминерального модификатора, который содержит молотое стекло, основу которого составляет  $\text{SiO}_2$  и который в процессе гидратации образует аморфный гидрат силиката кальция, обладающий свойствами твердого геля.

Образующийся в результате гидратации  $\text{C}_3\text{A}$  гидроалюминат кальция  $\text{C}_3\text{AH}_6$  характеризуется большей интенсивностью дифракционных отражений в образцах цементного камня составов № 1,  $d=0,282; 0,228; 0,203$  нм и состава  $d=0,228$  нм по сравнению с контрольным:  $d=0,282; 0,228; 0,203$  нм. Также отмечена меньшая интенсивность некоторых линий, идентифицирующих минерал этtringит:  $d=0,220; 0,194; 0,176$  нм. Это объясняется тем, что в ранний период гидратации этtringит, обладающий игольчатой морфологией, участвует в формировании ранней прочности камня, выступая в качестве армирующего компонента, но, как правило, содержание гипса в цементе недостаточно для полного связывания алюмосодержащих фаз в этtringит. Поэтому в дальнейшем, спустя 24...48 часов с момента начала гидратации, этtringит вступает во взаимодействие с алюминатной фазой, образуя гидроалюминат кальция.

Таким образом, вышеприведенное описание рентгенограмм образцов, объясняет прирост прочности у составов с добавлением органоминерального модификатора (№1, 2, 3) относительно контрольного состава в возрасте 3 суток.

В возрасте от 3 до 7 суток твердения состава №1 наблюдается снижение линий алита и гидроалюминатов кальция:  $d=0,231; 0,177; 0,164; 0,153; 0,149; 0,148$  нм  $d=0,382; 0,307; 0,247; 0,210$  нм, но в то же время наблюдается значительный рост линий портландита  $d=0,492; 0,262; 0,193; 0,179$  нм

(рисункм3.13, таблица 3.6), что объясняет более высокую прочность в этом возрасте образца №1 по сравнению с контрольным и №2, 3 (рисунок 3.12, таблица 3.6).

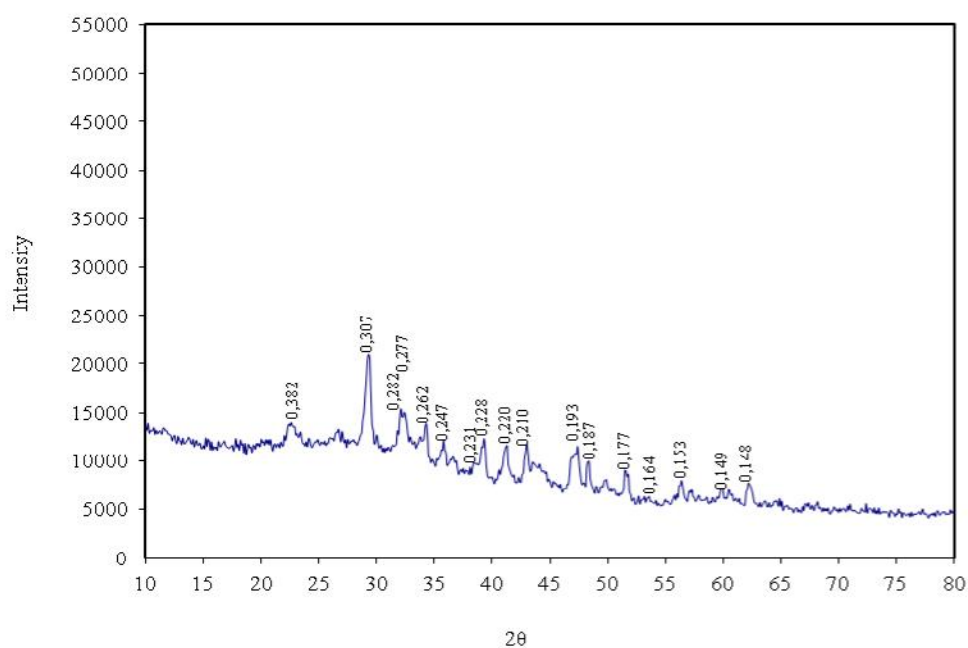


Рис. 3.12. Рентгенограмма образца камня вяжущего контрольного состава в возрасте 7 суток

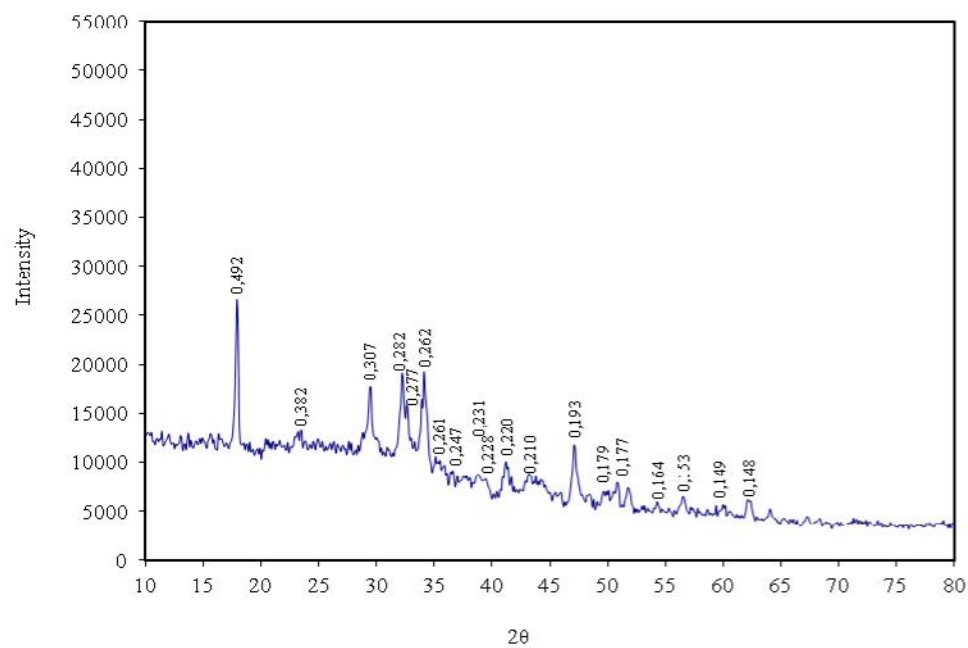


Рис. 3.13. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 1 в возрасте 7 суток (содержание МС=4%)



Так же в этом возрасте можно отметить снижение интенсивности основных линий этtringита у составов №2 и №3 по сравнению с контрольным и составом d= 0,220 нм (рисунок 3.14, 3.15, таблица 3.6), что со сказанным выше объясняет снижение прочности у этих составов относительно контрольного и состава №1.

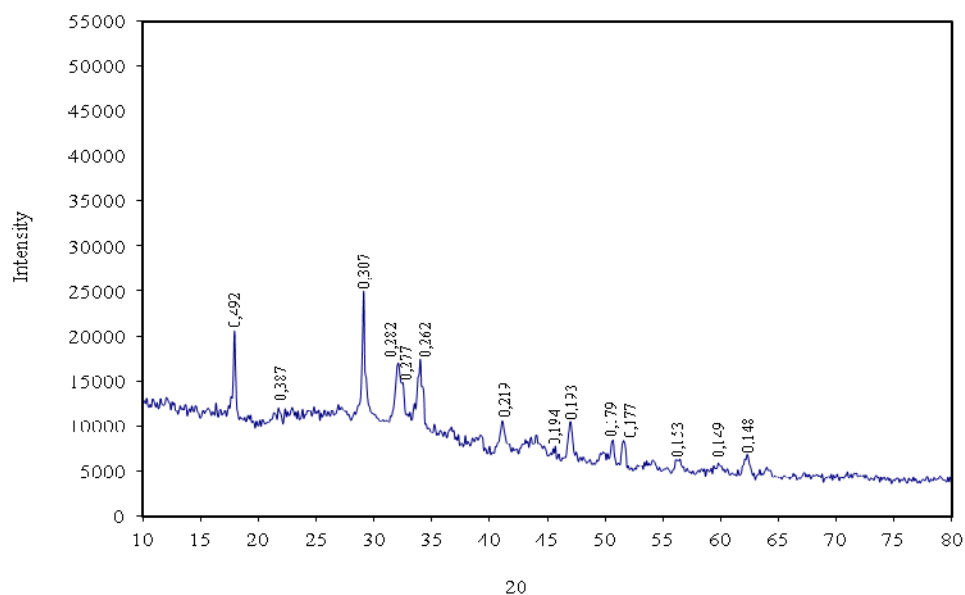


Рис. 3.14. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 2 в возрасте 7 суток (содержание МС=12%)

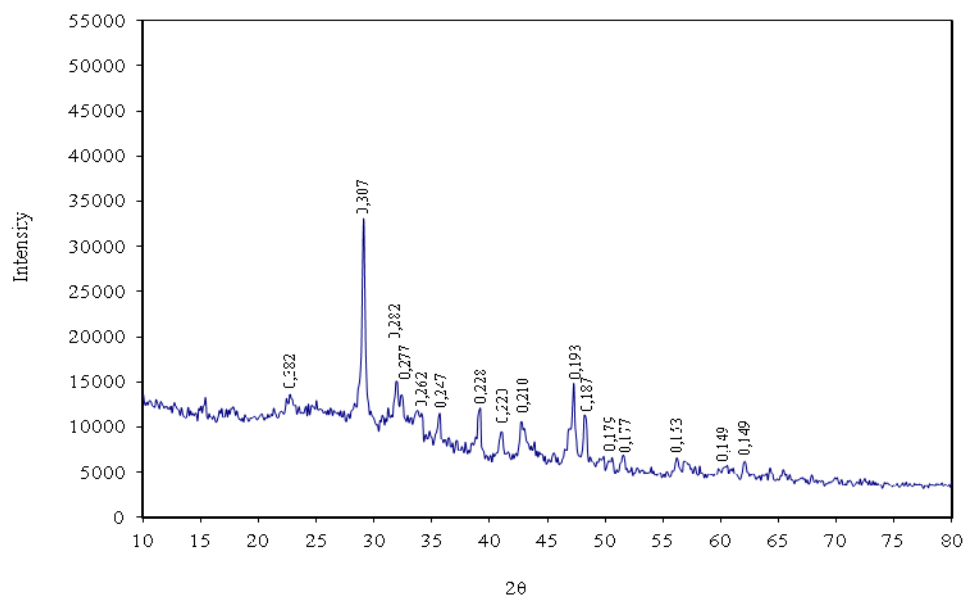


Рис. 3.15. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 3 в возрасте 7 суток (содержание МС=20%)

Для образцов цементного камня №1, 2, 3 в возрасте 14 суток отражение интенсивности основных линий алита и гидросиликатов кальция характеризуется как ростом, так и снижением:  $d=0,277$ ;  $0,177$ ;  $0,153$ ;  $0,149$ ;  $0,148$  нм  $d=0,382$ ;  $0,307$ ;  $0,247$ ;  $0,219$ ;  $0,210$ ;  $0,187$  нм по отношению к контрольному. В этом возрасте можно отметить рост линий как портландита, так и гидроалюмината кальция  $C_3AH_6$ :  $d=0,492$ ;  $0,262$ ;  $0,179$ ;  $0,163$  нм  $d=0,282$  нм относительно контрольного образца, что объясняет показатели прочности этих образцов в этом возрасте (рисунок 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, таблица 3.6).

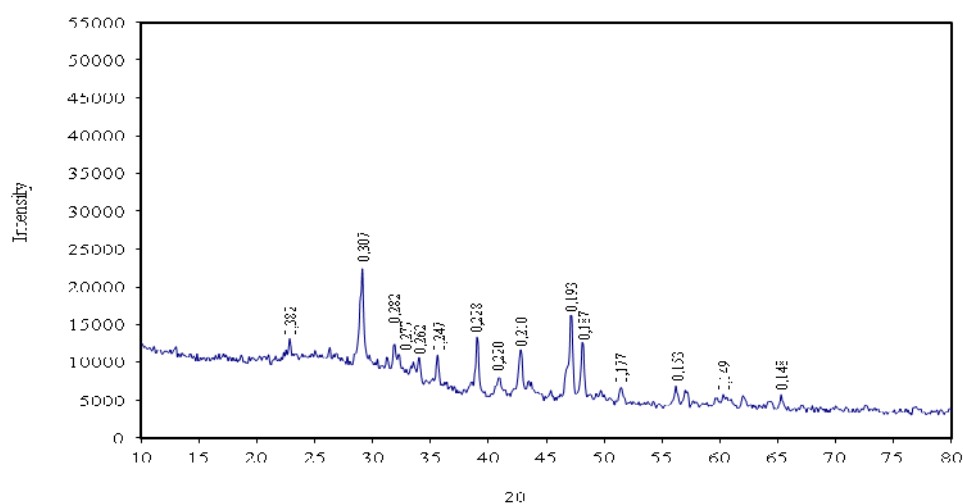


Рис. 3.16. Рентгенограмма образца камня вяжущего контрольного состава в возрасте 14 суток

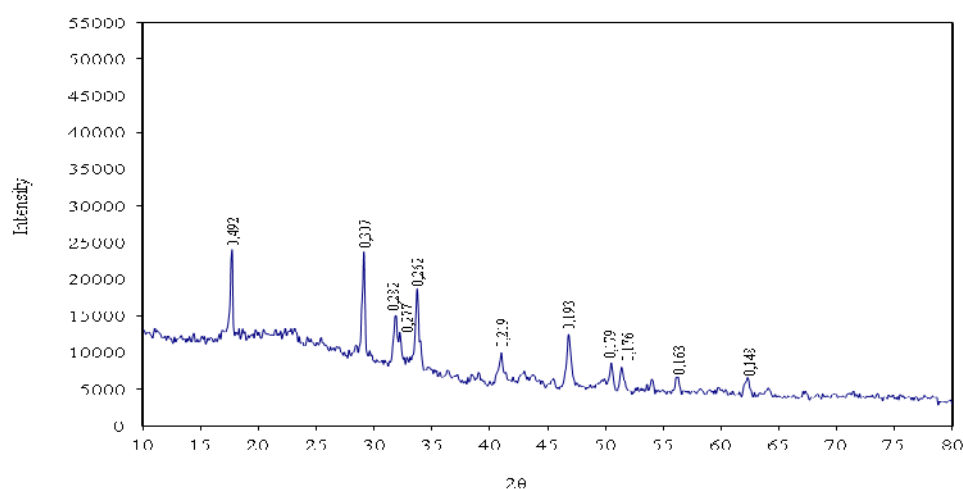


Рис. 3.17. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 1 в возрасте 14 суток (содержание МС=4%)

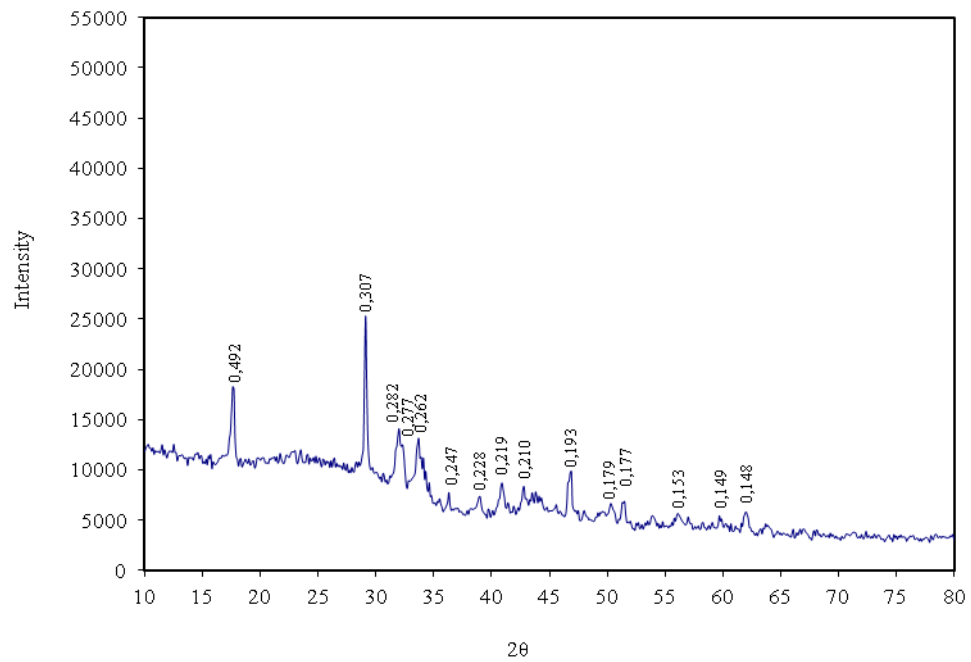


Рис. 3.18. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 2 в возрасте 14 суток (содержание МС=12%)

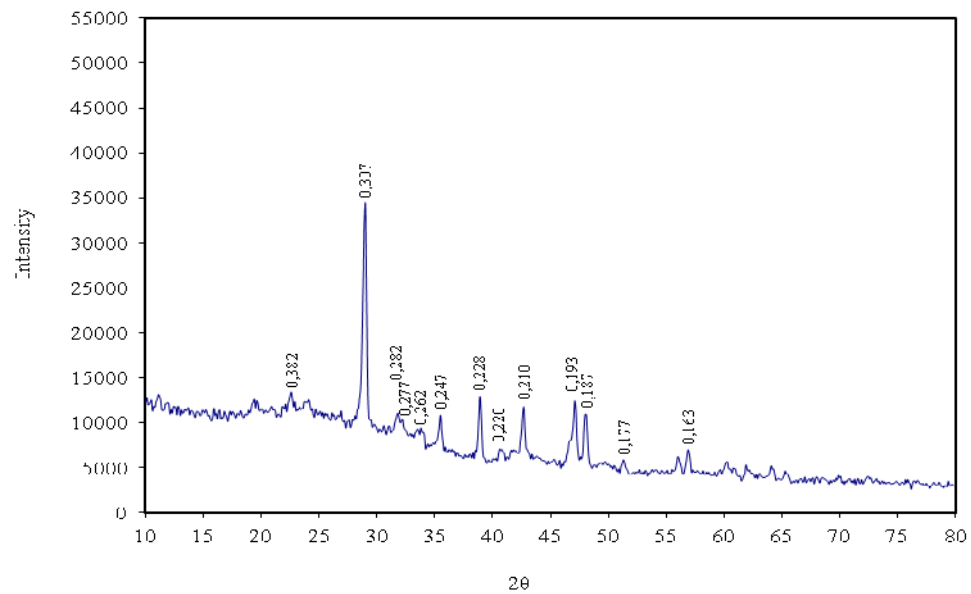


Рис. 3.19. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 3 в возрасте 14 суток (содержание МС=20%)

В возрасте твердения от 14 до 28 суток у всех исследуемых образцов прослеживается та же тенденция процесса гидратации, что и в возрасте 7...14 суток (рисунок. 3.20, 3.21, 3.22, 3.23, таблица 3.6).

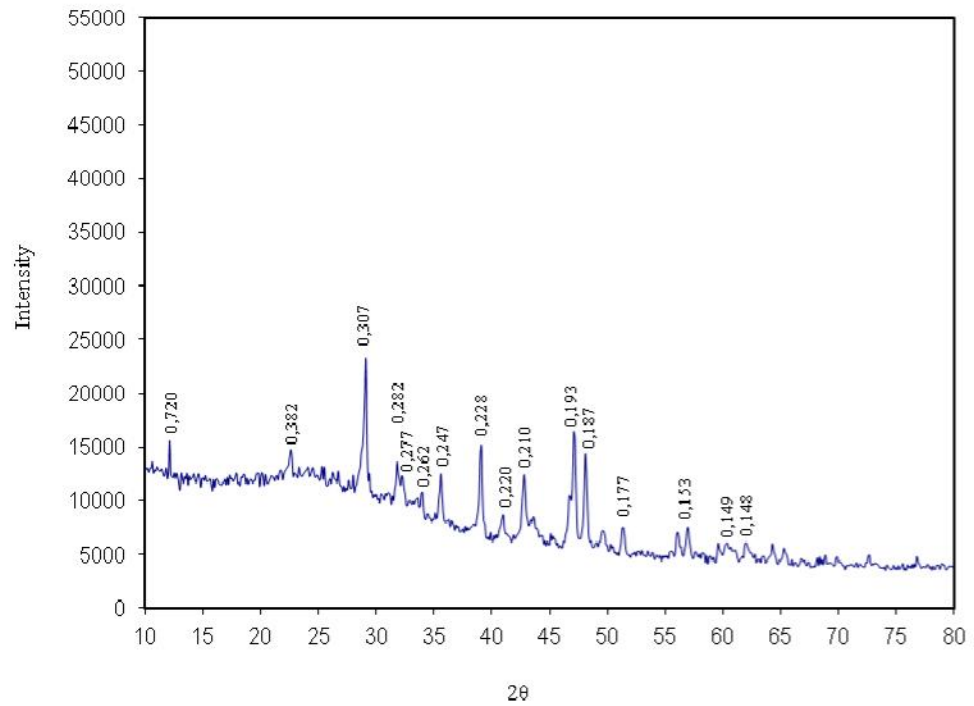


Рис. 3.20. Рентгенограмма образца камня вяжущего контрольного состава в возрасте 28 суток

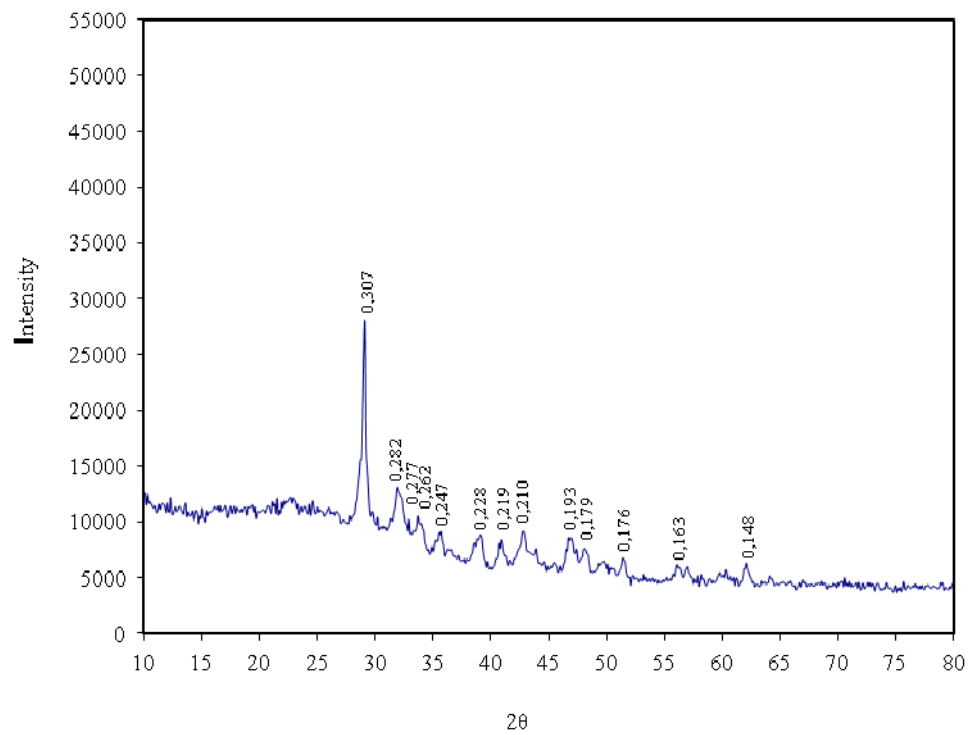


Рис. 3.21. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 1 в возрасте 28 суток (содержание МС=4%)

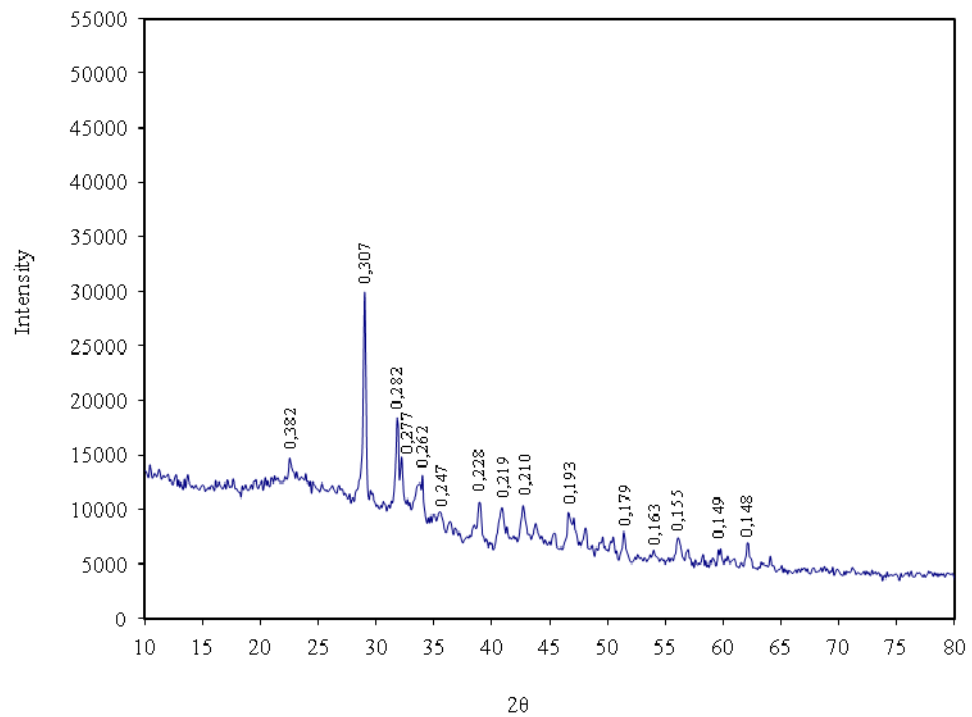


Рис. 3.22. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 2 в возрасте 28 суток (содержание МС=12%)

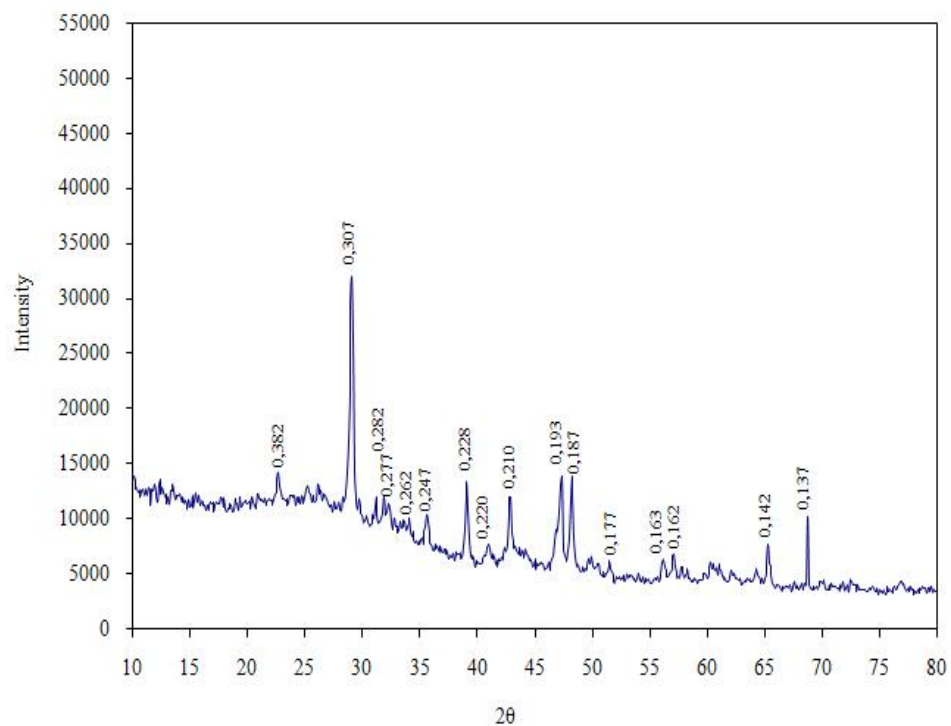


Рис. 3.23. Рентгенограмма образца камня вяжущего состава № 3 в возрасте 28 суток (содержание МС=20%)

Тенденция снижения/повышения интенсивностей основных линий алита в возрасте 3...28 суток видна на диаграмме (рисунок 3.24), линий портландита и гидросиликатов кальция (рисунок 3.25, 3.26).

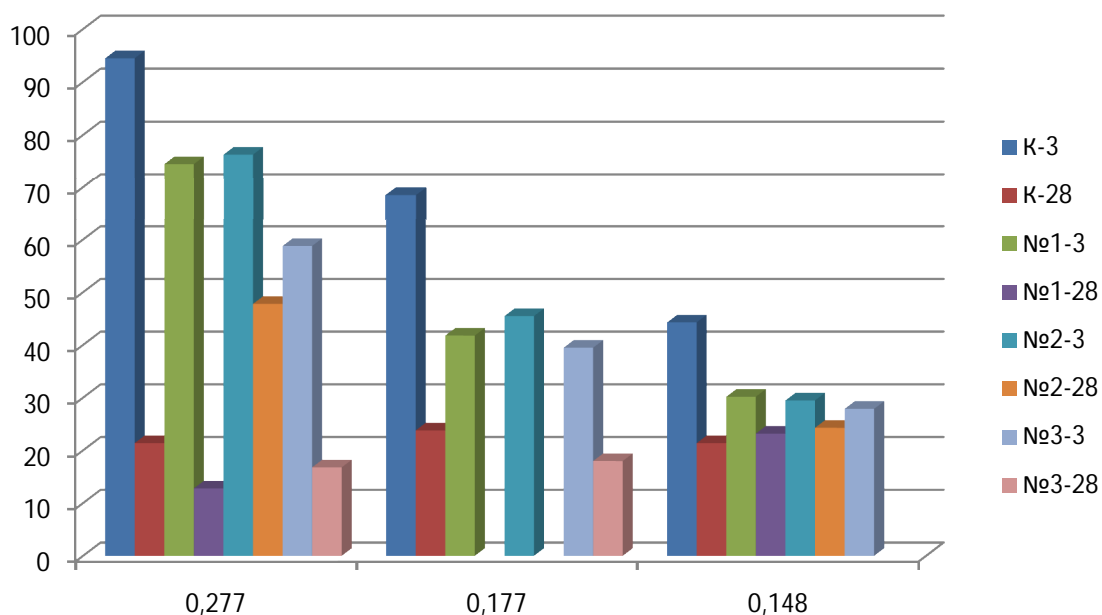


Рис. 3.24. Относительная интенсивность (%) основных линий алита

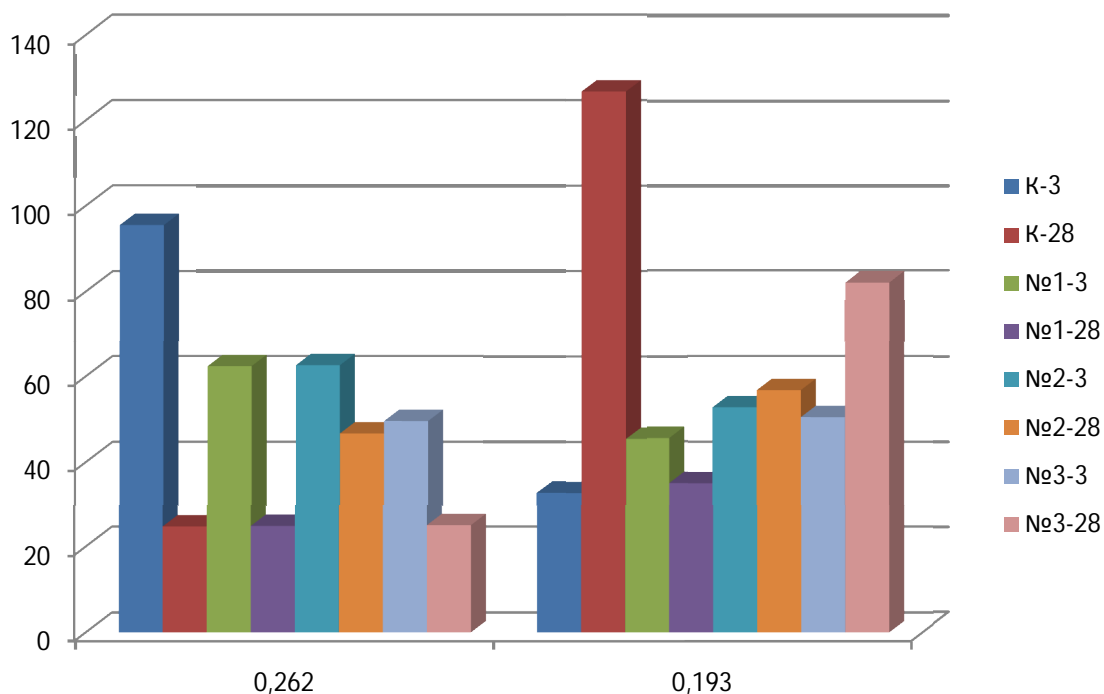


Рис. 3.25. Относительная интенсивность (%) основных линий  
портландита

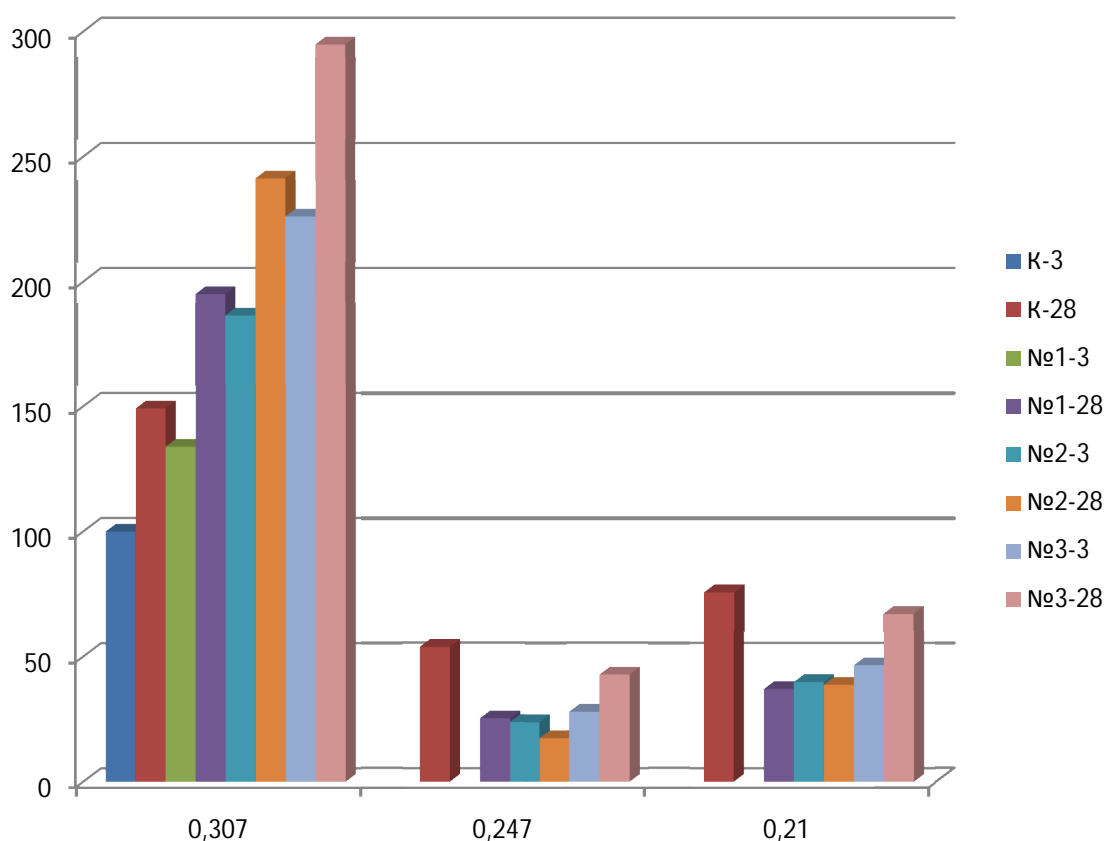


Рис. 3.26. Относительная интенсивность (%) основных линий гидросиликатов кальция C-S-H

По данным рентгенофазового анализа установлено влияние МС, и активатора реакции системы "МС - ПЦ" в составе органоминерального модификатора на степень связывания СаО в гидросиликаты кальция, которые уплотняя микроструктуру цементного камня, препятствуют проникновению агрессивной среды в тело цементного камня, тем самым повышая его коррозионную стойкость, а вследствие надежность и долговечность. Также образовавшиеся гидросиликаты кальция, уплотняя микроструктуру камня, омоноличивают кристаллы  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , предотвращая их растворение и вымывание, что положительно сказывается на коррозионной стойкости композиционных материалов на основе портландцемента цемента.

Эти факторы определяют целесообразность дальнейших экспериментальных исследований таких композиционных материалов как тяжелые бетоны.

### Выводы по разделу 3

1. Установлено, что наличие в составе модификатора сульфата натрия обеспечивает меньшее снижение текучести во времени цементного теста, (состав №3, 5, 7) (1,1%, 3,5%, 1,9% в течение 90 минут выдержки), по сравнению с составом без сульфата натрия (состав №2, 4, 6) (рисунок 3.1, 3.2, 3.3). Это связано с конкуренцией анионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и сульфогрупп полиметиленафталинсульфоната за центры адсорбции поверхности портландцемента и минеральных добавок, в результате чего в жидкой фазе остается большее количество неадсорбированного суперпластификатора. Таким образом, применение суперпластификатора на основе полиметиленафталинсульфоната совместно с молотым стеклом и сульфатом натрия может обеспечивать необходимую технологическую сохраняемость текучести цементного теста.

2. Сравнивая составы без активатора и с активатором сульфатом натрия показано, что составы с активатором (составы №3, 5, 7, 12,14) характеризуются большими показателями прочности. Это связано с тем, что молотое стекло при затворении водой не проявляет активных гидравлических свойств и для активации реакции в системе "МС+ПЦ" необходимо вводить в состав активатор в виде соединения щелочного металла, а именно сульфата натрия.

3. Анализируя результаты исследований влияния количества активатора (0,5...2% от массы цемента) в составе органоминерального модификатора на прочность образцов цементного камня можно сделать вывод, что оптимальная концентрация активатора составляет 1% от массы цемента.

4. Исходя из полученных результатов экспериментальных исследований следует, что органоминеральный модификатор, состоящий из молотого тонкодисперсного стекла в комплексе с суперпластификатором и активатором  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в составе цементного камня, повышает как раннюю, так и марочную прочность на 20...30%.

5. Анализируя сохраняемость текучести цементного теста и прочностные показатели образцов цементного камня следует отметить следующее:



- МС положительно влияет на начальную и конечную текучесть цементного теста;

- образец состава № 5 с концентрацией МС= 4% в составе органоминерального модификатора от массы цемента показал наиболее высокие показатели прочности, как в раннем, так и в марочном возрасте.

6. Данные рентгенофазового анализа свидетельствуют о том, что комплексная органоминеральная добавка модифицирует состав продуктов гидратации камня вяжущего. Анализ рентгенограмм образцов цементного камня объясняет прирост прочности у образцов с добавлением органоминерального модификатора (№1, 2, 3) относительно контрольного состава в возрасте 3...28 суток увеличением интенсивности отражений линий минералов, влияющих на прочность цементного камня.

7. Доказано, что путём введения в смеси на основе цемента органоминерального модификатора (МС+СП-1+А) удастся повысить прочность отвердевшего цементного камня, что подтверждают результаты рентгенофазового анализа, а именно: повышение интенсивности дифракционных отражений линий гидросиликатов кальция С–S–Н:  $d=0,382; 0,307; 0,247; 0,210; 0,187$  нм, связанное с добавлением в составы № 1, 2, 3 органоминерального модификатора, который в процессе гидратации образует гидрат силиката кальция, обладающий свойствами твердого тела.

8. По данным рентгенофазового анализа установлено влияние МС в составе органоминерального модификатора на степень связывания СаО в гидросиликаты кальция, которые уплотняя микроструктуру цементного камня омоноличивают кристаллы Са(ОН)<sub>2</sub>, препятствуют их растворению и вымыванию из тела камня, что является одним из факторов повышения коррозионной стойкости композиционных материалов на основе портландцемента.

## РАЗДЕЛ 4

### СВОЙСТВА БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ И БЕТОНОВ С ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫМ МОДИФИКАТОРОМ

В процессе исследований определяли технологические свойства модифицированных бетонов (подвижность бетонных смесей и ее сохраняемость во времени) физико-механические (прочность, средняя плотность, водопоглощение), а также определяли их эксплуатационные свойства, а именно: коррозионную стойкость, водонепроницаемость, морозостойкость и усадку.

#### 4.1 Технологические свойства модифицированных бетонных смесей

Оценка эффективности пластифицирующего действия органоминерального модификатора производилась по увеличению показателя подвижности бетонной смеси и ее сохраняемость во времени.

Приготовление бетонной смеси осуществлялось ручным способом, Объем замеса – 7,5л. Контрольный стандартный состав бетонной смеси изготовлен с классом по удобоукладываемости S4 (осадка конуса 16...21 см).

Сравнительные испытания бетонных смесей контрольного состава и с органоминеральным модификатором показывают положительное влияние его на подвижность смеси, составы №1, 2, 3 (таблица 4.1).

Таблица 4.1

Состав модифицированных бетонных смесей

Состав	Содержание компонентов, кг/м <sup>3</sup>						ОК, см	$\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>	
	ПЦ	Заполнитель		Органоминеральный модификатор					В/Ц
		П	Щ	МС	СН	СП-1 в пересчете на сухое вещество			
К	460	634	1108	-	-	2,76	0,40	20	2386
№1	460	604	1108	18,4	4,6	2,76	0,42	22	2388
№2	460	565	1108	55,2	4,6	2,76	0,43	23	2390
№3	460	526	1108	92,0	4,6	2,76	0,44	25	2392

Как видно по данным таблицы 4.1 в результате ввода в бетонную смесь МС в составе органоминерального модификатора взамен части песка подвижность смеси составов №1, 2, 3 увеличилась на 10, 15, 25 % соответственно, просматривается тенденция увеличения подвижности при увеличении количества

Максимальная подвижность по осадке конуса отмечена для бетонной смеси, в которой содержание МС составляет 20% (состав №3). Потеря подвижности через 90 минут с момента приготовления для этой смеси составляют 24%.

Для бетонной смеси, с концентрацией МС= 4 и 12% (состав №1 и №2), потери подвижности происходят более быстро и через 90 минут составляют 51 и 35 % от исходной величины (рисунок 4.1). Наиболее быстрая потеря подвижности характерна для бетонной смеси контрольного состава – 60%.

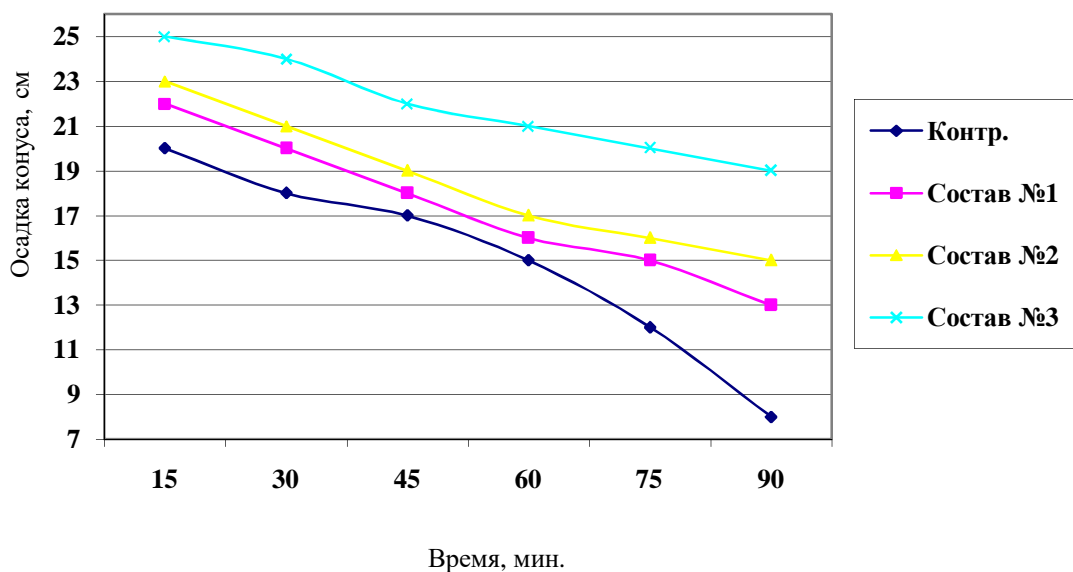


Рис. 4.1. Изменение подвижности во времени модифицированных бетонных смесей  $t=26\text{ }^{\circ}\text{C}$

Повышение и сохраняемость подвижности бетонной смеси связано со снижением адсорбции суперпластификаторов на основе полиметиленафталинсульфонатов в результате совместного применения с добавкой сульфата натрия  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  [143]. В этом случае анионы  $\text{SO}_4^{2-}$  конкурентно с молекулами суперпластификатора адсорбируются положительно заряженными

алюминатными и гидроалюминатными фазами цемента. В результате в жидкой фазе остается большее количество неадсорбированного СП-1 для обеспечения более длительной сохраняемости подвижности бетонной смеси. Также у МС величина адсорбции ниже в сравнении с песком, что вероятно связано с более высоким содержанием в последнем частиц, которые способны адсорбировать некоторое количество жидкой фазы, и этим можно объяснить более высокое водопоглощение зерен песка по сравнению с зернами МС.

#### **4.2 Оптимизация состава бетона по критериям прочности при сжатии и подвижности бетонной смеси**

Из бетонной смеси контрольного и основных составов изготовлено по девять образцов-кубов каждого состава для испытаний прочности на сжатие в возрасте 7, 14 и 28 суток, с размером ребра 0,1 м. Образцы контрольного и основных составов до испытаний твердели в нормальных условиях.

Таблица 4.2

Прочностные показатели модифицированных бетонов

Состав	Прочность при сжатии МПа, сутки		
	7	14	28
К	18,2	30,9	45,6
№1	22,1	36,2	52,8
№2	21,9	34,0	47,8
№3	20,5	32,0	46,6

Влияние состава органоминерального модификатора на прочностные характеристики модифицированных бетонов в возрасте 7, 14, 28 суток представлены в таблице 4.2 и на рисунке 4.2

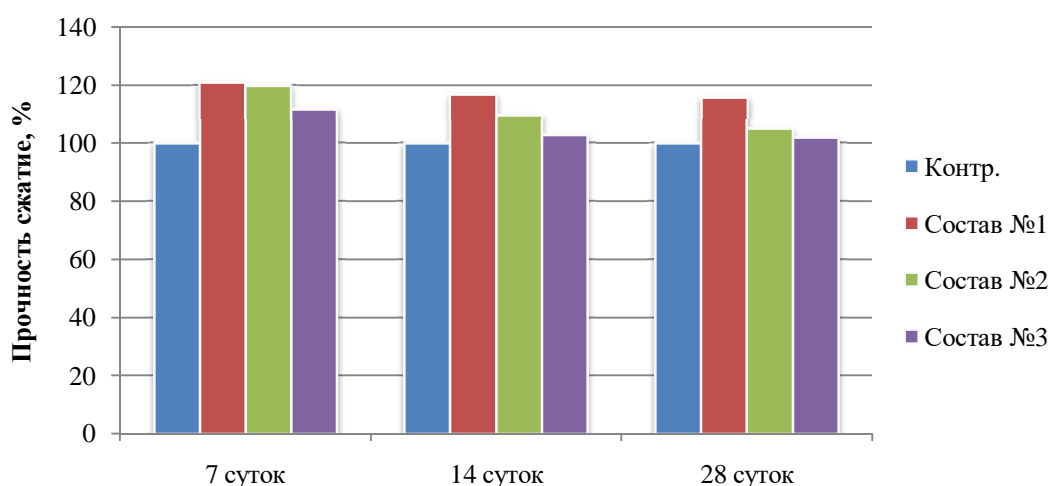


Рис. 4.2. Прочность модифицированных бетонов в возрасте 7, 14, 28 суток

Анализируя результаты, представленные в таблице 4.2 и на графике рисунок 4.2, следует вывод, что наблюдается прирост прочности бетонных образцов всех модифицированных составов по сравнению с контрольным составом в возрасте 7 суток на 21, 20, 12%, в 14 и 28 суток на 17, 10, 3% и 16, 5, 2% у составов №1, 2, 3 соответственно.

Более высокие показатели ранней прочности составов № 1, 2, 3 относительно контрольного состава связано с тем, что при введении органоминерального модификатора в состав бетонной смеси начинают более интенсивно образовываться гидросиликаты, обеспечивающие показатели прочности бетона в раннем возрасте твердения. В более поздние сроки твердения прирост порочности снижается, это вероятно связано с количеством оставшегося свободного  $\text{CaO}$ , необходимого для образования  $\text{CSH}$  и  $\text{Ca(OH)}_2$  в процессе гидратации портландцемента.

Учитывая полученные результаты, составы модифицированных бетонов, с помощью программного комплекса PlanExp– Трехфакторный планированный эксперимент "B-D13"v.1.0, были оптимизированы по расходу цемента, количеству в качестве параметров оптимизации приняты предел прочности бетона при сжатии в проектном возрасте, в зависимости от классов сред эксплуатации, и подвижность бетонной смеси (раздел

Граничные значения функций отклика, а также значения факторов варьирования приведены в таблице 4.3 и 4.4 соответственно.

Таблица 4.3

Параметры оптимизации состава бетонной смеси и их граничные значения

Код параметра оптимизации	Физический смысл параметра оптимизации	Ед. изм.	Граничное значение функции отклика
$Y_1$	Предел прочности при сжатии образцов бетона в возрасте 28 суток нормального твердения	МПа	не менее 45
$Y_2$	Подвижность бетонной смеси (осадка стандартного конуса)	см	не менее 16, не более 21

Таблица 4.4

Значение факторов варьирования

Код фактора	Физический смысл фактора	Ед. изм.	Интервал варьирования	Уровни фактора		
				-1	0	+1
$X_1$	Содержание цемента ПЦ-500	%	10	80	90	100
$X_2$	Количество молотого стекла	%*	8	4	12	20
$X_3$	Количество активатора - А	%*	0,5	0,5	1	1,5

\* Примечание: расход компонентов в % от массы цемента.

В ходе экспериментов готовили десять замесов бетонной смеси объемом 7 л каждый на основе варьирования факторов состава: содержания цемента, молотого стекла и активатора в соответствии с матрицей планирования эксперимента (таблица 4.5). Показатель подвижности (осадка конуса, см) для каждого состава бетонной смеси определяли трижды.

Таблица 4.5

## Матрица планирования и результаты эксперимента (осадка конуса)

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (Осадка конуса, см)		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	Ц, %	МС, %	А, %	y(u, 1)	y(u, 2)	y(u, 3)
1	-1	-1	-1	80	4	0,5	18,5	18,8	18,5
2	+1	-1	-1	100	4	0,5	16,2	16,3	16,4
3	-1	+1	-1	80	20	0,5	18,1	18,0	18,0
4	-1	-1	+1	80	4	1,5	18,9	19,3	18,5
5	-1	0,19	0,19	80	13,52	1,095	19,1	19,2	18,9
6	0,19	-1	0,19	91,9	4	1,095	16,8	16,0	16,9
7	0,19	0,19	-1	91,9	13,52	0,5	19,5	19,8	19,9
8	-0,29	+1	+1	87,1	20	1,5	19,8	19,9	19,5
9	+1	-0,29	+1	100	9,68	1,5	17,0	17,2	17,1
10	+1	+1	-0,29	100	20	0,855	17,1	17,3	17,5

После определения показателя подвижности бетонных смесей формовали образцы-кубы с размером ребра 0,1 м, которые твердели в нормальных условиях на протяжении 28 суток. Для каждого состава было изготовлено по девять образцов (таблица 4.6).

Таблица 4.6

## Матрица планирования и результаты эксперимента (прочность бетона при сжатии)

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (Прочность бетона при сжатии в 28 суток, МПа )		
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	Ц, %	МС, %	А, %	y(u, 1)	y(u, 2)	y(u, 3)
1	-1	-1	-1	80	4	0,5	44,9	43,2	45,0
2	+1	-1	-1	100	4	0,5	46,3	43,5	44,2
3	-1	+1	-1	80	20	0,5	38,8	37,2	40,5
4	-1	-1	+1	80	4	1,5	45,7	45,2	43,6
5	-1	0,19	0,19	80	13,52	1,095	41,4	39,3	42,1
6	0,19	-1	0,19	91,9	4	1,095	46,9	44,0	48,2
7	0,19	0,19	-1	91,9	13,52	0,5	41,9	39,1	40,1
8	-0,29	+1	+1	87,1	20	1,5	38,5	39,9	40,0
9	+1	-0,29	+1	100	9,68	1,5	40,2	39,0	41,9
10	+1	+1	-0,29	100	20	0,855	39,5	40,2	31,0

Расчет коэффициентов и оценка значимости уравнений регрессии, а также проверка адекватности уравнений регрессии выполнены в соответствии с рекомендациями [18] (таблица 4.7, 4.8).

Таблица 4.7

Результаты расчета коэффициентов и статистический анализ уравнения регрессии (осадка конуса)

№	Наименование	Расчетные значения
1	Коэффициенты уравнения математической модели	$b_0=18,796; b_1=-0,977; b_2=0,625; b_3=-0,023;$ $b_{11}=-0,802; b_{12}=0,625; b_{13}=-0,455; b_{22}=-1,232;$ $b_{23}=0,284; b_{33}=0,991$
2	Уравнение математической модели	$y=(18,796)+(-0,977)X_1+(0,625)X_2+(-0,023)X_3+$ $+(-0,802)X_1X_2+(-1,232)X_2X_2+(0,991)X_3X_2+$ $+(0,625)X_1X_2+(-0,455)X_1X_3+(0,284)X_2X_3$
3	Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах	0,061
4	Число степеней свободы	20
5	Критерий Стьюдента (табличное значение)	$t_m=2,09$
6	Критерий Стьюдента (расчетное значение)	$t_{b0}=81,909; t_{b1}=9,948; t_{b2}=6,364; t_{b3}=0,234;$ $t_{b11}=4,225; t_{b12}=5,338; t_{b13}=3,886;$ $t_{b22}=6,49; t_{b23}=2,425; t_{b33}=5,22$
7	Условие значимости	выполняется кроме, $t_{b3} < t_m$ ; ( $b_3$ – незначимо, из уравнения регрессии исключаются)
8	Дисперсия адекватности математической модели	0,129
9	Число степеней свободы при значимых коэффициентах	1
10	Критерий Фишера (табличное значение)	$F_m=4,35$
11	Критерий Фишера (расчетное значение)	$F_p=2,11$
12	Условие адекватности	выполняется, уравнение регрессии адекватно
13	Постоянный фактор	$X_2=1(20)$
14	Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора	$y=(18,796)+(-0,977)X_1+(0,625)+(-0,023)X_3+$ $+(-0,802)X_1X_2+(-1,232)+ (0,991)X_3X_2+(0,625)X_1+$ $+(-0,455)X_1X_3+(-0,284)X_3$
$Y(X_1, X_2, X_3)=18,197-0,352X_1-0,802X_1X_2+0,991X_3X_2-0,455X_1X_3$		(4.1)



Таблица 4.8

Результаты расчета коэффициентов и статистический анализ уравнения регрессии  
(прочность бетона при сжатии)

№	Наименование	Расчетные значения
1	Коэффициенты уравнения математической модели	$b_0=41,835$ ; $b_1=-0,83$ ; $b_2=-3,487$ ; $b_3=-0,012$ ; $b_{11}=-1,301$ ; $b_{12}=-0,73$ ; $b_{13}=-0,245$ ; $b_{22}=1,105$ ; $b_{23}=0,008$ ; $b_{33}=-0,697$
2	Уравнение математической модели	$y=(41,853)+(-0,83)X_1+(-3,487)X_2+(-0,012)X_3+$ $(-1,301)X_1X_2+(1,105)X_2X_2+(-0,697)X_3X_2+(-$ $0,73)X_1X_2+(-0,245)X_1X_3+(0,008)X_2X_3$
3	Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах	4,489
4	Число степеней свободы	20
5	Критерий Стьюдента (табличное значение)	$t_m=2,09$
6	Критерий Стьюдента (расчетное значение)	$t_{b0}=21,203$ ; $t_{b1}=0,982$ ; $t_{b2}=4,127$ ; $t_{b3}=0,014$ ; $t_{b11}=0,797$ ; $t_{b12}=0,725$ ; $t_{b13}=0,243$ ; $t_{b22}=0,677$ ; $t_{b23}=0,0081$ ; $t_{b33}=0,427$
7	Значимость	выполняется, $t_{b0}>t_m$ ; $t_{b2}>t_m$ ( $b_1$ ; $b_3$ ; $b_{11}$ ; $b_{12}$ ; $b_{13}$ ; $b_{22}$ ; $b_{23}$ ; $b_{33}$ – незначимы, из уравнения регрессии могут быть исключены)
8	Дисперсия адекватности математической модели	4,977
9	Число степеней свободы при значимых коэффициентах	8
10	Критерий Фишера (табличное значение)	$F_m=2,45$
11	Критерий Фишера (расчетное значение)	$F_p=1,11$
12	Условие адекватности	выполняется, уравнение регрессии адекватно
13	Постоянный фактор	$X_2=-1(4)$
14	Преобразованное уравнение математической модели с учетом постоянного фактора	$y=(41,853)+(-0,83)X_1+(3,487)+(-0,012)X_3+$ $(-1,301)X_1X_2+(1,105)+(-0,697)X_3X_2+(0,73)X_1+$ $(-0,245)X_1X_3+(-0,008)X_3$
$Y(X_1, X_2, X_3)=46,445-0,1 X_1-0,02 X_3-1,301 X_1X_2-0,697 X_3X_2-0,245 X_1X_3(4.2)$		

Формулы перехода от кодированных значений факторов эксперимента к натуральным для уравнений 4.1 и 4.2 соответственно имеют вид:

$$X_1 = \frac{x_1 - 90}{10}; X_2 = \frac{x_2 - 12}{8}; X_3 = \frac{x_3 - 1}{0,5}. \quad (4.3-4.5)$$

Графическая интерпретация уравнения регрессии (4.1), характеризующего изменение подвижности бетонных смесей, см, от действующих факторов ( $X_1$ ,  $X_3$  при фиксированном значении фактора  $X_2$ ), представлена на рисунке 4.3.

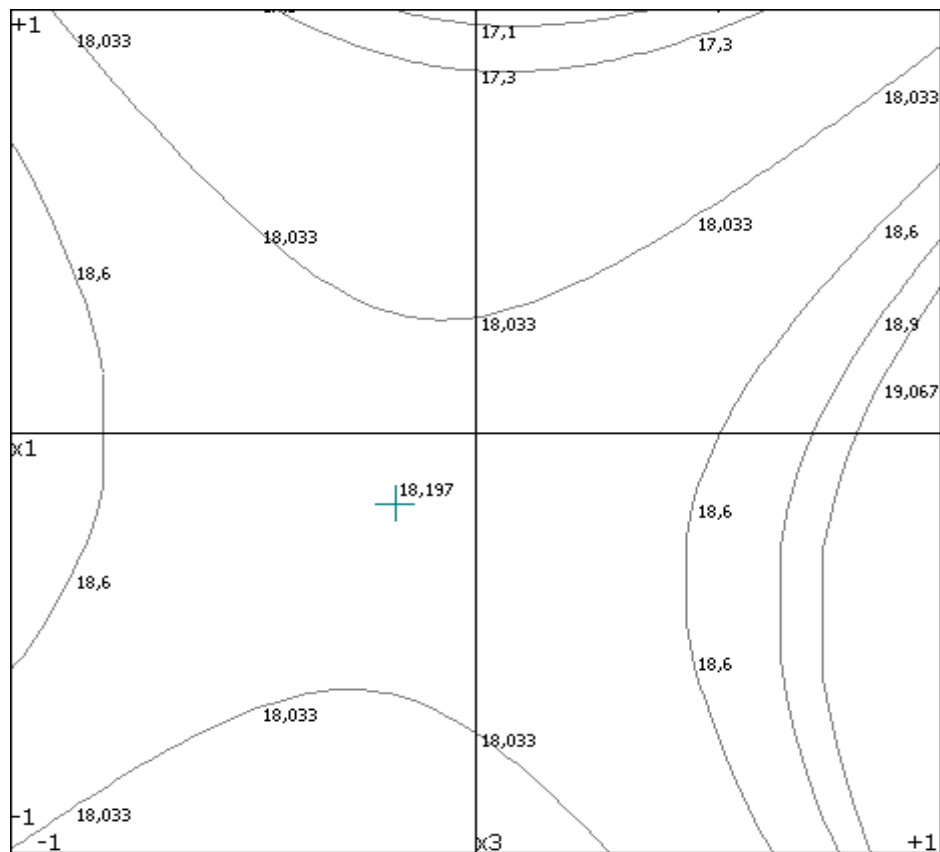


Рис. 4.3. Графическая интерпретация уравнения регрессии (4.1), характеризующего изменение подвижности бетонных смесей, см, от действующих факторов ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ).

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет  $Y_{opt} = 18,197$ .

Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов:  $X_1 = -0,171$  (88,29) и  $X_3 = -0,171$  (0,914) при  $X_2 = 1$  (20).

Анализируя результаты (таблица 4.5 и рисунок 4.3) видно, что на величину осадки конуса бетонной смеси большее влияние оказывает концентрация молотого стекла - МС ( $X_2$ ) и активатора - А ( $X_3$ ). Увеличение значений этих факторов приводит к росту величины функции отклика.

Графическая интерпретация уравнения регрессии (4.2), характеризующего изменение предела прочности при сжатии бетона, МПа, от действующих факторов ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ), представлена на рисунке 4.4. Установлено, что с увеличением абсолютного значения факторов  $X_2$  и  $X_3$  наблюдается снижение прочности бетона, что еще раз подтверждает результаты исследований, представленных в разделе

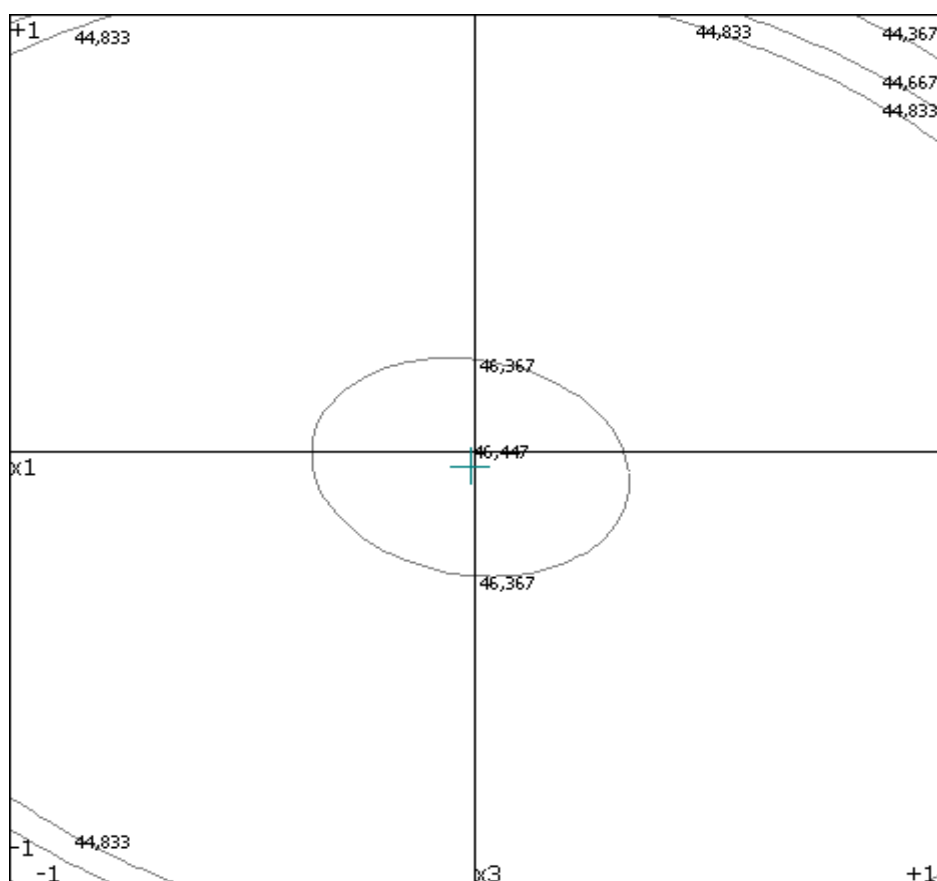


Рис. 4.4. Графическая интерпретация уравнения регрессии (4.2), характеризующего изменение предела прочности при сжатии бетона, МПа, от действующих факторов ( $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$ ).

Экстремум функции отклика находится в пределах варьирования переменных факторов. Значение экстремума составляет  $Y_{opt}=46,447$ . Экстремуму функции отклика соответствуют значения факторов:  $X_1=-0,038$  (89,62) и  $X_3=-0,008$  (0,996) при  $X_2=-1$  (4).

Подытоживая вышесказанное можно сделать следующий вывод, что по показателю прочности при сжатии оптимальным является состав №1, но в тоже время по показателю подвижности смеси и с точки экологической эффективности предпочтительней составы №2 и №3. Тем более по показателю прочности эти составы не значительно отличаются от состава №1.

Для дальнейших исследований принимаем скорректированные составы бетонных смесей, которые представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9

## Скорректированные составы модифицированных бетонных смесей

Состав	Содержание компонентов, кг/м <sup>3</sup>							ОК, см	$\rho_o$ , кг/м <sup>3</sup>
	ПЦ	Заполнитель		Органоминеральный модификатор			В/Ц		
		П	Щ	МС	А	СП-1  в пересчете на сухое вещество			
К	460	634	1140	-	-	2,76	0,38	18	2409
№1	420	660	1140	16,8	4,2	2,52	0,40	17	2409
№2	420	620	1140	50,4	4,2	2,52	0,41	18	2407
№3	420	580	1140	84,0	4,2	2,52	0,42	19	2405

Приведенные составы практически равнозначны по показателям В/Ц, подвижности и средней плотности.

Прочностные характеристики модифицированных бетонов в возрасте 7,14,28 суток представлены в таблице 4.10 и на рисунке 4.5.

Таблица 4.10

Прочностные показатели скорректированных составов модифицированных бетонов

Состав	Содержание МС, %	Прочность при сжатии МПа, сутки		
		7	14	28
К	-	30,6	37,3	44,6
№1	4	33,3	36,1	47,9
№2	12	32,4	38,1	45,4
№3	20	30,6	37,6	44,8

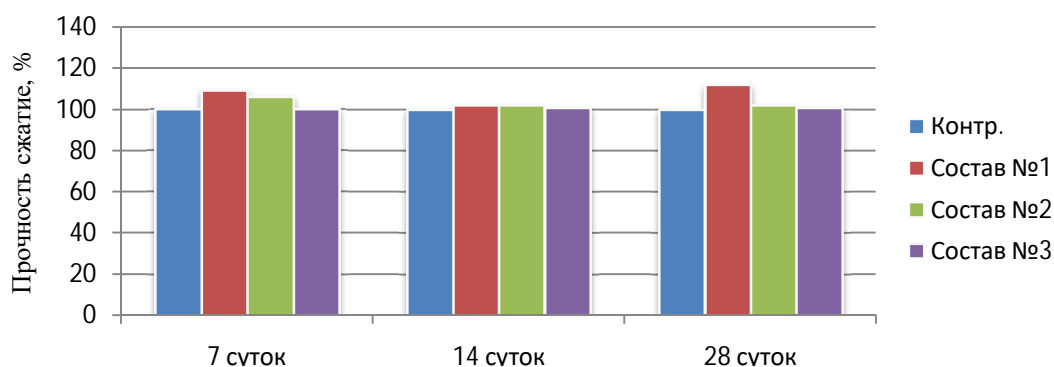


Рис. 4.5. Прочность скорректированных составов модифицированных бетонов в возрасте 7, 14, 28 суток

Наиболее представительным по прочности в стандартном возрасте является состав №1 (с содержанием МС=4%), а составы №2, 3 (с концентрацией МС= 12 и 20% соответственно) практически равнозначны с контрольным составом, что объясняется данными рентгенофазового анализа цементного камня, представленными в третьем разделе.

Физические свойства модифицированных бетонов Таблица 4.11

Состав	Содержание МС, %	Водопоглощение, %
К	-	3,8
№1	4	3,4
№2	12	3,2
№3	20	3,0

Анализируя результаты, представленные в таблице 4.11, просматривается зависимость водопоглощения образцов от концентрации молотого стекла в составе бетона, а именно с увеличением концентрации МС водопоглощение понижается.

### 4.3 Коррозионная стойкость модифицированного бетона

Для оценки коррозионной стойкости изготавливали образцы бетонов и помещали их в жидкую агрессивную среду, получаемые при этом показатели прочности сопоставляли с образцами, находившимися в неагрессивной среде.

В данной работе были проведены испытания образцов, составы которых приведены в табл. 4.9 (по 72 образца каждого состава). Образцы нормального твердения в возрасте 28 суток были помещены в растворы агрессивной и неагрессивной среды.

В качестве агрессивной среды использовали: раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4$  с водородным показателем  $\text{pH}=3$ , что соответствует концентрации 0,001 моль/л; раствор  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  в пересчете  $\text{SO}_4^{2-}$  - 10000 мг/л  $\times^1$ ; дистиллированную воду (далее по тексту ДВ), т.е. моделировались кислотная, сульфатная коррозия и коррозия выщелачивания. Неагрессивная среда – питьевая вода. Образцы испытывали в возрасте 1, 2, 3, 4, 5, 6 месяцев после выдерживания в агрессивной среде.

Периодически в указанные сроки образцы вынимали из раствора и определяли показатели прочности. При проведении испытаний концентрация агрессивной среды поддерживалась постоянной. Показателем коррозионной стойкости бетона является коэффициент стойкости (далее по тексту КС), представляющий собой отношение показателей прочности растяжении при изгибе и сжатии образцов бетона, находившихся в агрессивном растворе, к прочности образцов, твердевших тот же срок в нейтральной среде, в возрасте шести месяцев.

В работе было исследовано изменение показателей прочности на растяжение при изгибе таблицы 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 и прочности на сжатие таблицы 4.16, 4.17, 4.18, 4.19.

Таблица 4.12

Показатели коррозионной стойкости контрольного состава по прочности на  
растяжение при изгибе

Время, месяцы	Прочность на растяжение при изгибе МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	4,6	4,4	4,6	3,2	0,95	1,00	0,69
2	4,6	4,2	4,4	3,2	0,91	0,96	0,43
3	4,8	3,8	4,0	2,0	0,79	0,83	0,42
4	4,8	3,6	3,8	1,8	0,75	0,79	0,37
5	5,0	3,6	3,8	1,8	0,72	0,76	0,36
6	5,0	3,6	3,8	1,6	0,72	0,76	0,32

Таблица 4.13

Показатели коррозионной стойкости состава №1 по прочности на растяжение при  
изгибе

Время, месяцы	Прочность на растяжение при изгибе МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	5,2	5,2	5,2	4,2	1,00	1,00	0,81
2	5,2	5,2	5,2	3,0	1,00	1,00	0,58
3	5,2	5,2	5,4	2,6	1,00	1,04	0,50
4	5,2	5,2	5,4	2,2	1,00	1,04	0,46
5	5,4	5,2	5,8	2,2	0,96	1,07	0,43
6	5,4	5,2	5,8	2,2	0,96	1,07	0,43

Таблица 4.14

Показатели коррозионной стойкости состава №2 по прочности на растяжение при  
изгибе

Время, месяцы	Прочность на растяжение при изгибе МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	4,6	4,8	4,6	3,6	1,00	1,00	01,75
2	4,6	4,8	4,6	2,4	1,00	1,00	0,50
3	4,5	4,8	4,8	2,0	1,00	1,00	0,42
4	5,0	4,8	5,0	2,0	0,96	1,00	0,40
5	5,0	4,8	5,2	1,8	0,96	1,04	0,36
6	5,2	4,8	5,4	1,8	0,92	1,04	0,34

Таблица 4.15

Показатели коррозионной стойкости состава №3 по прочности на растяжение при изгибе

Время, месяцы	Прочность на растяжение при изгибе МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	4,6	4,6	4,6	3,2	1,00	1,01	0,69
2	4,6	4,6	4,6	2,0	0,99	1,02	0,43
3	4,6	4,6	4,8	1,8	0,98	1,03	0,39
4	4,8	4,6	5,0	1,8	0,96	1,04	0,37
5	4,8	4,6	5,0	1,8	0,96	1,04	0,37
6	5,0	4,6	5,2	1,6	0,94	1,04	0,32

Таблица 4.16

Показатели коррозионной стойкости контрольного состава по прочности при сжатии

Время, месяцы	Прочность при сжатии МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	44,1	43,1	44,7	31,7	0,98	1,01	0,72
2	45,3	40,8	45,2	18,6	0,90	1,00	0,41
3	45,5	38,2	42,9	17,3	0,84	0,94	0,38
4	46,0	35,0	40,9	16,6	0,76	0,89	0,36
5	46,8	34,6	36,6	16,4	0,74	0,78	0,35
6	47,3	34,0	35,5	15,6	0,72	0,75	0,33

Таблица 4.17

Показатели коррозионной стойкости состава №1 по прочности при сжатии

Время, месяцы	Прочность при сжатии МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	49,5	49,7	49,9	39,2	1,00	1,01	0,79
2	49,8	49,7	50,2	25,0	1,00	1,01	0,50
3	50,0	49,5	51,0	23,5	0,99	1,02	0,47
4	50,2	49,2	52,2	22,3	0,98	1,04	0,44
5	50,7	49,2	54,2	21,8	0,97	1,07	0,43
6	51,1	48,5	55,7	20,0	0,95	1,09	0,40



Таблица 4.18

Показатели коррозионной стойкости состава №2 по прочности при сжатии

Время, месяцы	Прочность при сжатии МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	45,1	45,1	45,3	33,8	1,00	1,00	0,75
2	45,4	44,9	45,5	21,3	0,99	1,00	0,47
3	46,6	44,9	47,0	19,5	0,96	1,01	0,42
4	47,1	44,8	48,0	17,9	0,95	1,02	0,38
5	47,7	44,7	49,6	17,6	0,94	1,04	0,37
6	48,1	44,6	50,0	17,3	0,93	1,04	0,36

Таблица 4.19

Показатели коррозионной стойкости состава №3 по прочности при сжатии

Время, месяцы	Прочность при сжатии МПа, среда				КС, среда		
	H <sub>2</sub> O	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
1	43,6	43,5	44,5	28,8	1,00	1,02	0,66
2	43,7	43,5	44,6	18,8	0,99	1,02	0,43
3	44,1	43,4	45,9	17,2	0,98	1,04	0,39
4	44,5	43,2	46,7	16,0	0,97	1,05	0,36
5	44,9	43,1	47,6	15,7	0,96	1,06	0,35
6	45,2	42,9	47,9	14,5	0,95	1,06	0,32

Анализ полученных результатов показывает, что модифицированные бетоны обладают высокой коррозионной стойкостью к воздействию ряда агрессивных сред. Образцы бетона контрольного состава и составов №1, 2, 3 при выдержке в течение шести месяцев в агрессивной среде – в растворе сульфата натрия (рисунок 4.6, 4.9) и при выщелачивании (рисунок 4.7, 4.10) показали значения близкие к единице. В то же время в растворе серной кислоты коэффициент стойкости КС снизился до величины 0,32...0,43 (рисунок 4.8, 4.11), что является фактором неприемлемости использовать такие бетоны в средах с повышенной кислотностью (рисунок 4.12).

Сравнивая результаты составов №1, 2, 3 с контрольным, в растворе сульфата натрия, следует отметить, что у составов №1, 2, 3 коэффициент стойкости выше, чем у контрольного состава (рисунок 4.6, 4.9) на 43, 38, 39% соответственно.

При выдерживании образцов в ДВ образцы составов №1, 2, 3 показали КС выше, чем у контрольного состава на 33, 28, 31% соответственно (рисунок 4.7, 4.10).

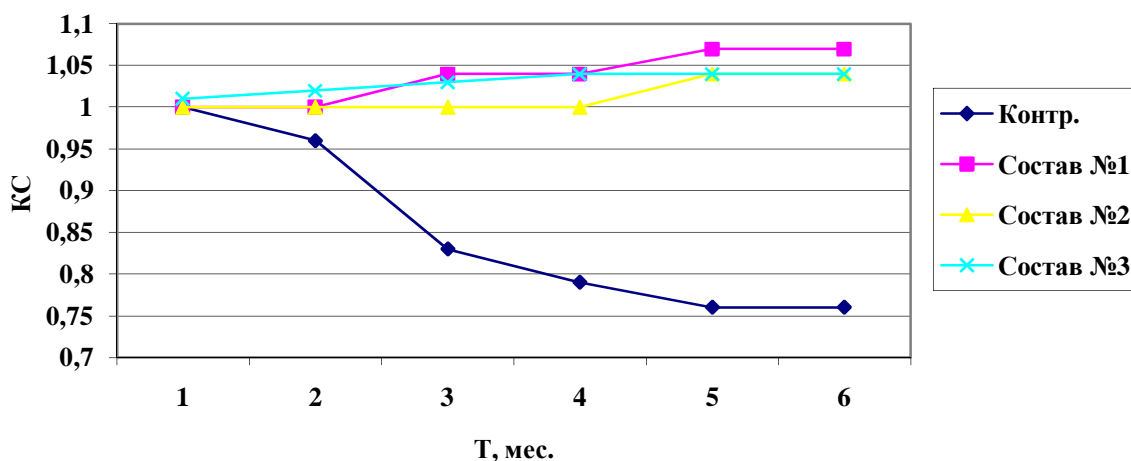


Рис. 4.6. Коэффициент стойкости образцов контрольного состава и модифицированных составов №1, 2, 3 по прочности на растяжение при изгибе в растворе сульфата натрия

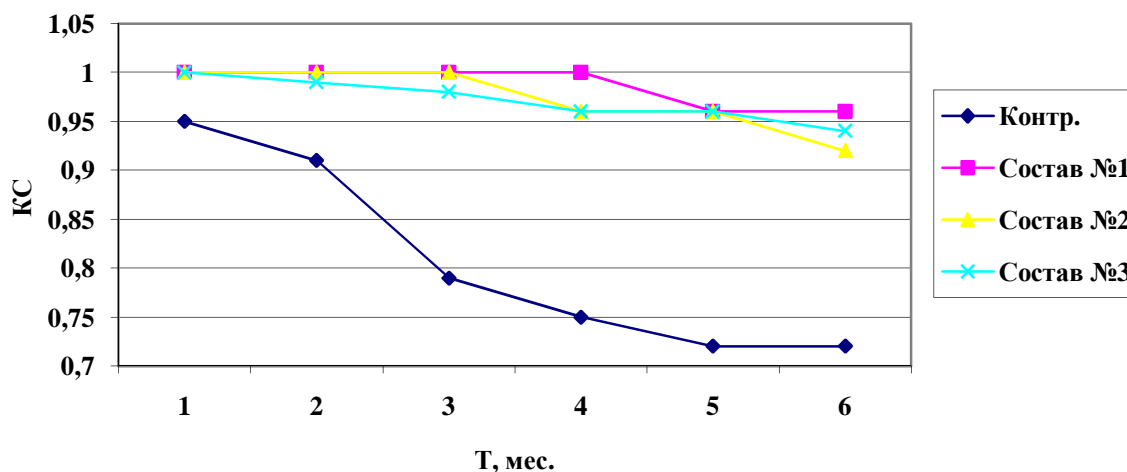


Рис. 4.7. Коэффициент стойкости образцов контрольного состава и модифицированных составов №1, 2, 3 по прочности на растяжение при изгибе при выщелачивании

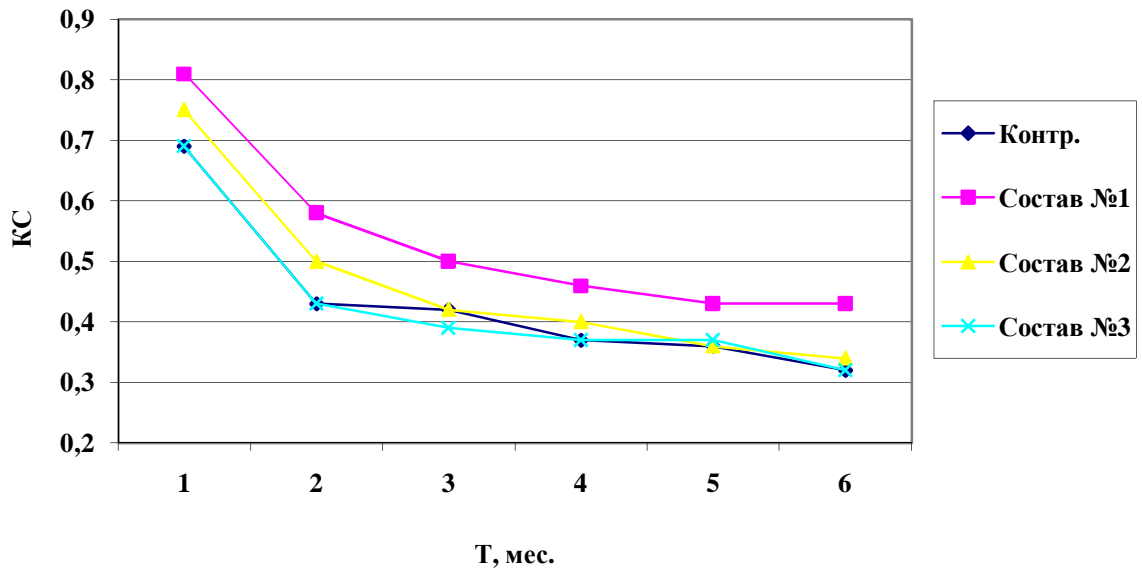


Рис. 4.8. Коэффициент стойкости образцов контрольного состава и модифицированных составов №1, 2, 3 по прочности на растяжение при изгибе в кислотной среде

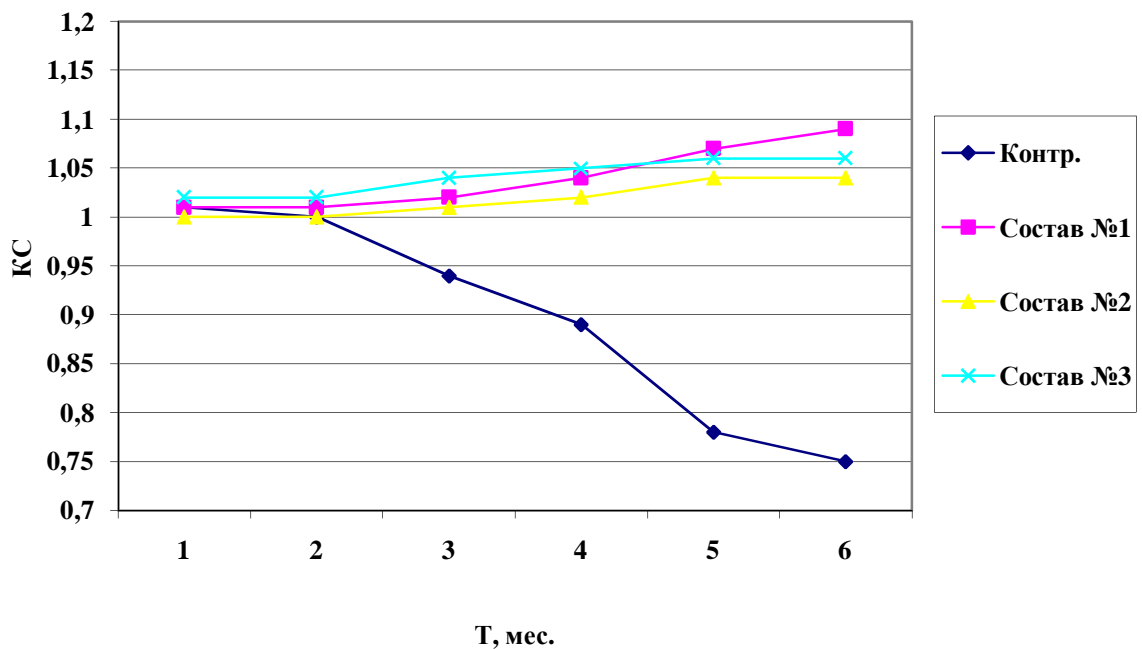


Рис. 4.9. Коэффициент стойкости образцов контрольного состава и модифицированных составов №1, 2, 3 по прочности при сжатии в растворе сульфата натрия

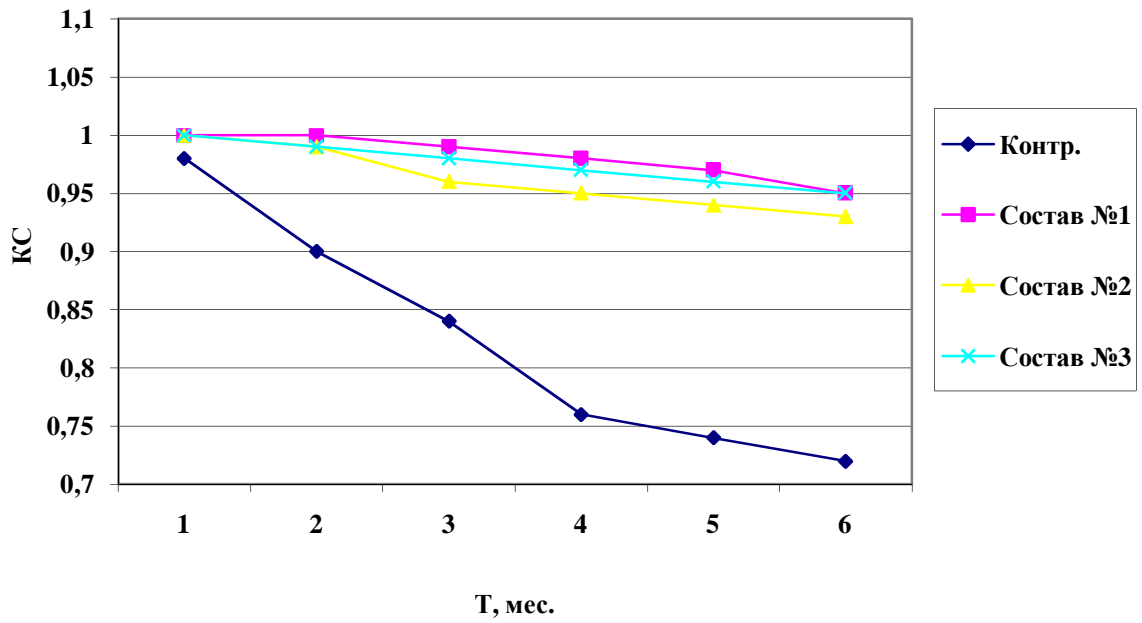


Рис. 4.10. Коэффициент стойкости образцов контрольного состава и модифицированных составов №1, 2, 3 по прочности при сжатии при выщелачивании

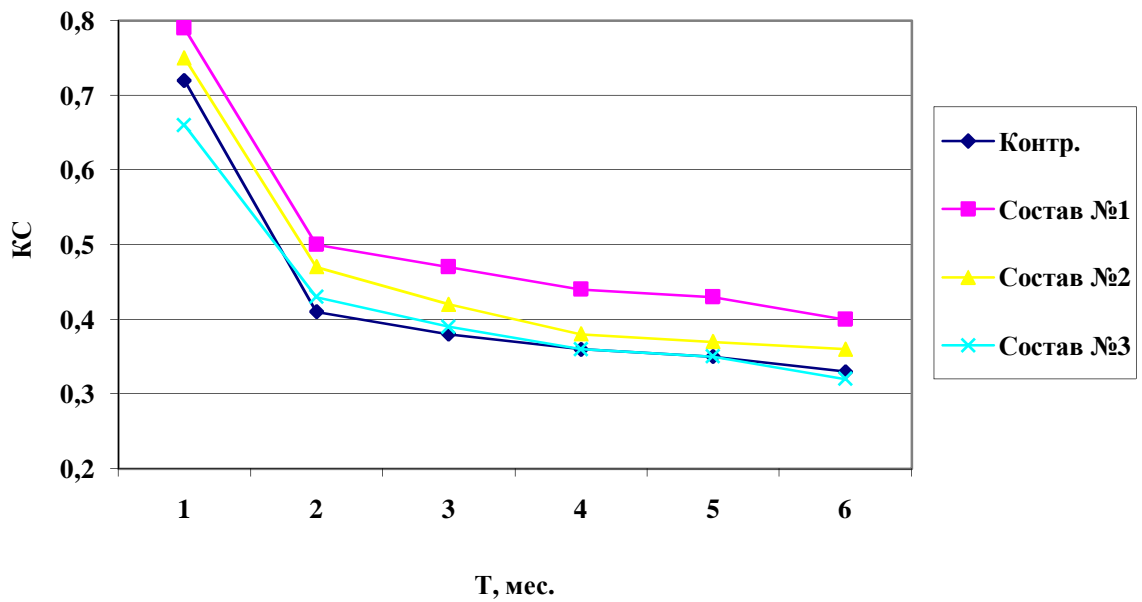
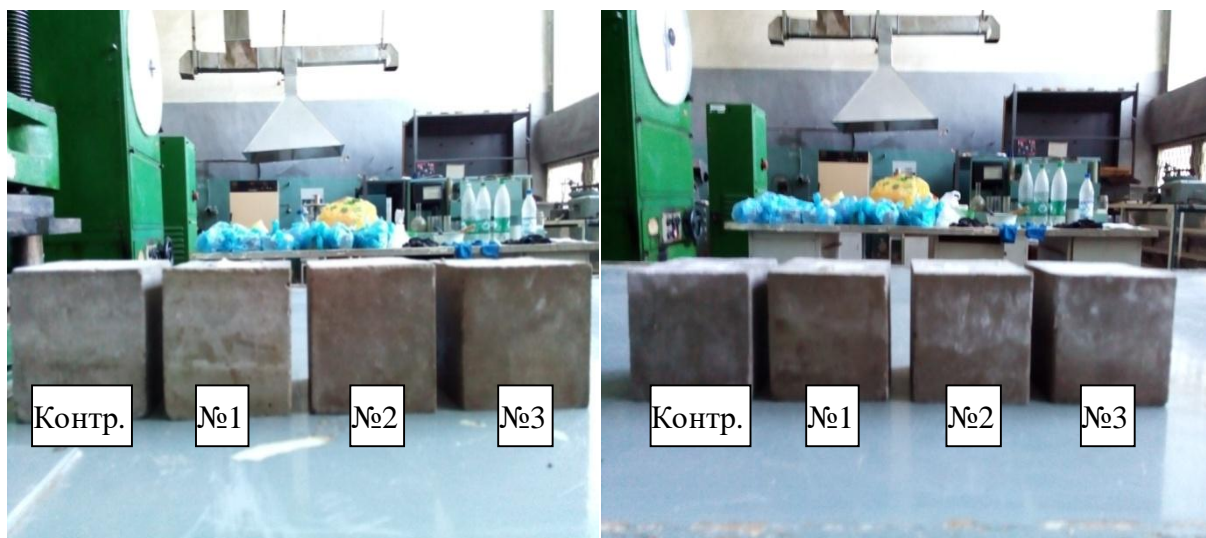
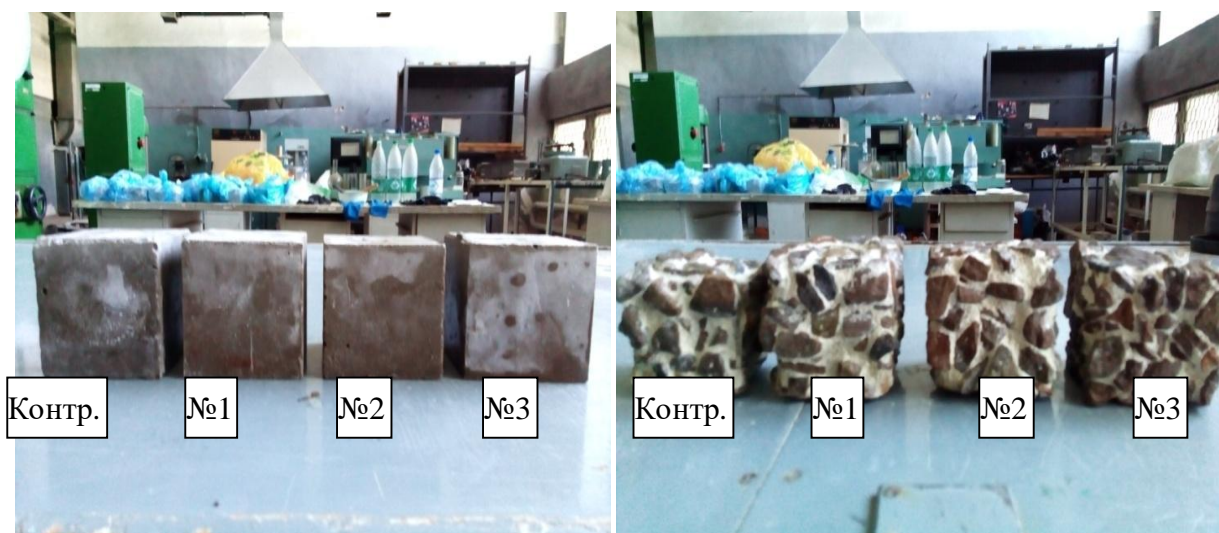


Рис. 4.11. Коэффициент стойкости образцов контрольного состава и модифицированных составов №1, 2, 3 по прочности при сжатии в кислотной среде



а) б)



в) г)

Рис. 4.12. Образцы составов №1, 2, 3 и контрольного состава после 6 месяцев выдержки в различных средах:

а) – в питьевой воде; б) – в дистиллированной воде ; в) – в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ;  
г) – в растворе  $\text{H}_2\text{SO}_4$

Следует отметить что наиболее высокий показатель КС при сульфатной, кислотной коррозии и коррозии выщелачивания показал образец состава №1 с добавлением МС в количестве 4%).

Более высокие показатели коэффициента КС при коррозии выщелачивания и сульфатной коррозии составов №1, 2, 3 по сравнению с контрольным составом можно объяснить следующими факторами:

- присутствием в составе органоминерального модификатора молотого стекла, основу которого составляет  $\text{SiO}_2$  (порядка 73%) и который в процессе гидратации образует гидрат силиката кальция, характеризующегося более устойчивым к вымыванию, чем гидроксид кальция  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;

- при введении в бетон органоминерального модификатора на основе МС структура бетона является более плотной и менее водопроницаемой по сравнению с контрольным составом (уменьшается количество пор и капилляров).

Низкие показатели КС в растворе серной кислоты связаны с тем, что принцип действия кислоты такой же, как и воды, но более агрессивный и интенсивный. Гидроксид кальция  $\text{СН}$  растворяется, а гидриды силикатных и алюминатных фаз разлагаются с выделением  $\text{Ca}^{2+}$ . Для эксплуатации модифицированных органоминеральным модификатором бетонов в кислотных среда требуется вторичная защита от коррозии (мероприятия связанные с пропиткой и покрытием поверхности материала).

#### **4.4 Эксплуатационные свойства тяжелых бетонов, модифицированных органоминеральным модификатором**

##### **4.4.1 Водонепроницаемость**

Водонепроницаемость бетона определяли по методу "мокрого пятна" (рисунок 4.10) согласно ГОСТ 12730.5-84 "Бетоны. Методы определения водонепроницаемости" на образцах-цилиндрах диаметром 150 мм, высотой 100 мм в возрасте 28 суток нормального твердения. Образцы показали результаты, соответствующие марке W6...W8 по водонепроницаемости. Результаты испытаний представлены в таблице 4.16.



Рис. 4.10. Установка для определения водонепроницаемости образцов

Таблица 4.16

## Показатели испытаний образцов на водонепроницаемость

№ состава	Расход модификатора, % от массы цемента			Марка по водонепроницаемости, W
	МС	А	СП-1	
К	-	-	0,6	W4
№1	4	1	0,6	W6
№2	12	1	0,6	W8
№3	20	1	0,6	W8

В результате полученных данных (таблица 4.16) заметна зависимость водонепроницаемости бетона от количества молотого стекла в составе органоминерального модификатора. Это объясняется влиянием МС на капиллярно-пористую структуру цементного камня. За счет дисперсности зерен (5-40 мкм), гидратирующихся и превращающихся в гель, который уплотняясь омоноличивает крупные и мелкие фракции заполнителя, в результате чего образуется более плотное, прочное бетонное тело, что также положительно сказывается на таких эксплуатационных свойствах бетона как водонепроницаемость, так и морозостойкость.



№ составов	Критерии морозостойкости бетона											
	прирост (+), снижение (-) предела прочности при сжатии при переменном замораживании-оттаивании, %						снижение массы, %					
	Количество циклов											
	13	20	30	45	75	110	13	20	30	45	75	110
К	+2,1	+0,7	-2,8	-5,3	-	-	0	0	0	0	0,3	-
№1	+2,9	+1,5	-2,2	-5,1	-	-	0	0	0	0	0,2	-
№2	+4,1	+0,8	-0,9	-2,8	-6,4	-	0	0	0	0	0	0,4
№3	+3,7	+3,1	-1,2	-1,9	-4,6	-5,7	0	0	0	0	0	0,2
№ составов	Визуальные критерии морозостойкости бетона											
	Визуальные признаки разрушения (трещины, шелушения, сколы), при циклах											
	13		20		30		45		75		110	
К	отсутствуют								шелушение поверхностного слоя			
№1	отсутствуют											
№2	отсутствуют											
№3	отсутствуют											



Таблица 4.18

## Установление марки модифицированного бетона по морозостойкости

№ состава	Расход модификатора, % от массы цемента			Марка по морозостойкости, F (ускоренный метод)
	МС	А	СП-1	
К	-	-	0,6	200
№1	4	1	0,6	200
№2	12	1	0,6	250
№3	20	1	0,6	300

По данным таблицы 4.18 установлено, что в зависимости от количества стеклянного порошка в составе органоминерального модификатора такая эксплуатационная характеристика модифицированных бетонов как морозостойкость повышается на 1-2 ступени.

#### 4.4.3 Относительные деформации усадки

Учитывая достаточно высокий расход цемента в исследуемых составах необходимо установить такую деформационную характеристику, как усадка бетона.

Усадка бетона — это уменьшение объема и размеров вследствие уплотнения, потери влаги, затвердевания в результате химических, физических и физико-химических процессов.

Выделяют три вида усадки:

- пластическая усадка, проявляющаяся в процессе схватывания. Она протекает всего на протяжении 8 часов после укладки, а впоследствии не учитывается;
- аутогенная усадка происходит при твердении, вследствие усадки цементного геля;
- усадка при высыхании, постепенная усадка длящаяся годами.

Деформации усадки определяли с помощью тензометров Аистова в проектном возрасте (рисунок 4.11)



Рис. 4.11. Прибор для определения деформации усадки, тензометры Аистова

Деформации усадки бетона в возрасте 98 суток твердения для образцов контрольного состава составили  $49 \cdot 10^{-5}$ , состава №1 -  $35 \cdot 10^{-5}$ , состава №2 -  $30 \cdot 10^{-5}$ , состава №3 -  $24 \cdot 10^{-5}$ , что на 29, 38, 48% меньше по сравнению с показателями усадки контрольного состава соответственно. При этом стабилизация показателей усадки контрольного состава соответственно. При этом стабилизация показателей усадки наступила достаточно рано – в пределах 56 суток твердения бетона у всех составов (рисунок 4.12). Это очевидно объясняется тем, что все составы имеют достаточно высокую плотность, низкое водоцементное отношение и показатели водопоглощения до 4% по массе, что позволяет их отнести к бетонам пониженной проницаемости и это положительно сказывается на усадочных деформациях.

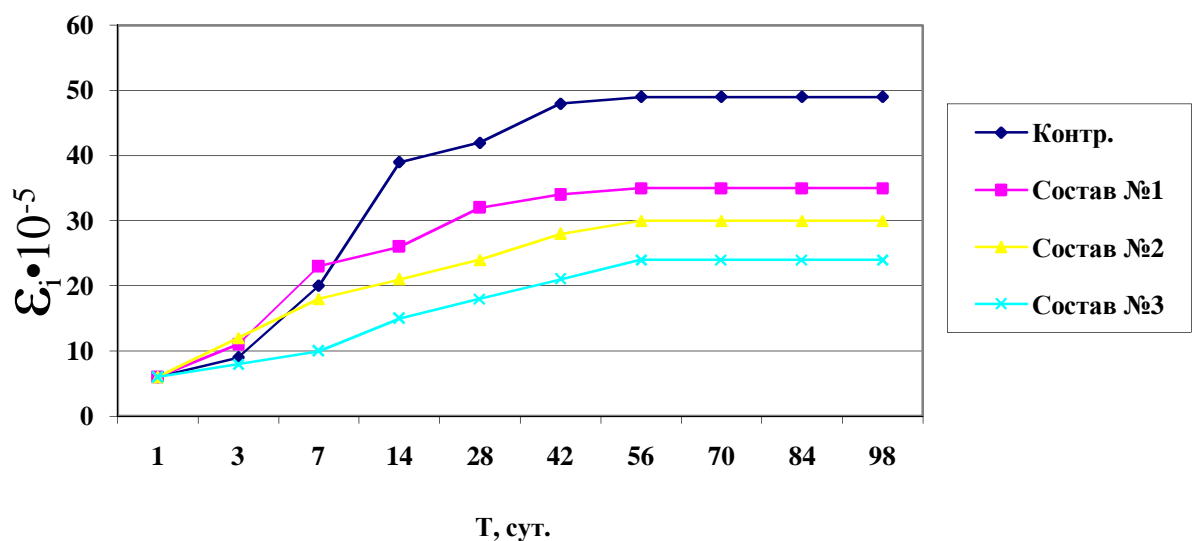


Рис. 4.12. Относительные деформации усадки образцов контрольного состава и модифицированных составов №1, 2, 3

## Выводы по разделу 4

1. Выполнена корректировка состава бетона по содержанию цемента, МС и активатора. Наиболее представительным по прочности в стандартном возрасте является состав №1 (с содержанием МС=4%), который показал увеличение прочности в стандартном возрасте по сравнению с контрольным на 7%, а составы №2 и 3 (с концентрацией МС= 12 и 20% соответственно) практически равнозначны с контрольным составом.

2. Установлено, что повышение коррозионной стойкости тяжелых бетонов при сульфатной коррозии и коррозии выщелачивания до 43% и до 33% соответственно, обеспечивается модификацией его состава органоминеральным модификатором и позволяет получить бетоны на рядовых цементах с коэффициентом коррозионной стойкости 0,95...1,09.

3. Установлено, что деформации усадки бетона в возрасте 98 суток твердения для образцов контрольного состава составила  $49 \cdot 10^{-5}$ , состава №1 -  $35 \cdot 10^{-5}$ , состава №2 -  $30 \cdot 10^{-5}$ , состава №3 -  $24 \cdot 10^{-5}$ , что на 29, 38, 48% соответственно меньше показателей усадки контрольного состава. При этом стабилизация показателей усадки у всех составов наступила достаточно рано – в пределах 56 суток твердения бетона, что доказывает предположение о протекании щелочной реакции в течение 24-28 часов и в дальнейшем отсутствии расширения образцов.

4. Применение в таких цементных композитах как тяжелые бетоны органоминерального модификатора на основе стеклянного порошка в количестве 4...20% от массы цемента при неизменной подвижности бетонных смесей и применении рядовых цементов наряду с повышением коррозионной стойкости бетона позволяет зафиксировать следующую технико-экономическую эффективность:

- повышение прочности бетона, как в процессе набора, так и в проектном возрасте до 8% в зависимости от концентрации МС в составе органоминерального модификатора;

- повышение марки бетона по водонепроницаемости W4 до W8 и морозостойкости F200 до F300;

- снижение расхода цемента без снижения класса бетона по прочности на  $40 \text{ кг/м}^3$  (8,7%).

**РАЗДЕЛ 5****ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ В ПРОИЗВОДСТВО  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ****5.1. Технологический регламент изготовления модифицированных  
тяжелых бетонов****5.1.1. Общие положения**

Настоящий технологический регламент разработан для использования на производственной базе ООО "Домостроительный комбинат" при изготовлении тяжелых модифицированных бетонных смесей и бетонов повышенной коррозионной стойкости.

Технологический регламент разработан на основе действующих нормативно-технических документов, проектно-сметной документации, принятых на ООО "Домостроительный комбинат", и реальных производственных условий этого предприятия.

Технологический регламент является основным техническим документом, в котором в котором отражены основные необходимые сведения о применяемых сырьевых материалах, по оснащению производственной базы основным технологическим оборудованием, требованиям к бетонным смесям и бетонам повышенной коррозионной стойкости, указаниям по составу и приготовлению бетонных смесей, их контролю качества, нормам по технике безопасности и охране окружающей среды, правилам транспортирования и приемки на строительной площадке.

В технологический регламент могут быть внесены изменения и дополнения.

## **5.1.2. Характеристика и технические требования к продукции**

### **5.1.2.1. Бетоны повышенной коррозионной стойкости**

Тяжелые цементные бетоны повышенной коррозионной стойкости применяют в виде опор разного вида мостовых сооружений, причалов, бетонных конструкций тоннелей, фундаментов зданий и сооружений, изделий систем ливневой канализации, которые эксплуатируются в различных агрессивных средах.

Вышеперечисленные конструкции и сооружения эксплуатируются в классах сред XF1, XF2, XF3, XF4, XA1, XA2 согласно ГОСТ 31384-2017 "Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования" и должны соответствовать ряду требований.

Тяжелые бетоны должны характеризоваться коэффициентом коррозионной стойкости  $K_c \geq 0,8$ , низкой проницаемостью и равномерной структурой, модифицированной органоминеральным комплексом на основе стеклянного порошка, и соответствовать требованиям ГОСТ Р 57345-2016 "Бетоны. Общие технические условия" (EN 206-1:2013 Beton — Festlegung. Eigenschaften. Herstellung und Konformität. IDT ).

К бетонам повышенной коррозионной стойкости согласно ГОСТ 31384-2017 "Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования" в зависимости от указанных классов сред эксплуатации предъявляется ряд требований:

- предел прочности при сжатии должен находиться в диапазоне 25...45 МПа;
- марка по водонепроницаемости W4...W8;
- марка по морозостойкости F200...F300;
- плотность в пределах 2200...2500 кг/м<sup>3</sup>;
- водопоглощение не более 4%.

### 5.1.2.2. Бетонные смеси

Бетонные смеси, предназначенные для изготовления коррозионно-стойких бетонов в условиях монолитного строительства и заводского изготовления тонкостенных и густоармированных железобетонных изделий, должны соответствовать требованиям ГОСТ 7473-2010 "Смеси бетонные. Технические условия", и характеризоваться маркой по подвижности S4 с осадкой конуса 16...21 см.

По требованиям заказчика марка по подвижности может быть изменена с соответствующей корректировкой состава бетонной смеси при условии соблюдения всех остальных проектных данных.

Расслаиваемость бетонной смеси для марки по подвижности S4 не должна превышать значений, представленных в таблице 5.1.

Таблица 5.1

Требования к расслаиваемости бетонных смесей

Марка бетонной смеси по подвижности	Расслаиваемость бетонной смеси, не более, %	
	Водоотделение	Раствороотделение
		тяжелых бетонов
S4	0,8	4

При поставке бетонных смесей к месту укладки допустимое отклонение заданных значений средней плотности, расслаиваемости, пористости, температуры и сохраняемости свойств во времени не должно превышать значений, которые приведенных в таблице 5.2.

Таблица 5.2

Допустимые отклонения заданных значений показателей качества бетонных смесей

Показателя качества бетонных смесей	Диапазон заданного значения показателя	Возможно допустимое отклонение заданного значения показателя
Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	2220...2460	±20
Расслаиваемость - по водоотделению, %  - по раствооотделению, %	Менее 0,4	+0,1
	0,4 и более	+0,2
	Менее 4	+0,5
	4 и более	+1,0
Сохраняемость свойств смеси во времени в зависимости от расстояния перевозки: - до 10 км; - до 30 км; - до 60 км.	Не менее 1ч 30 мин От 1ч 30 мин до 3ч 00 мин Более 3 ч 00 мин	-10 мин -20 мин -30 мин

### 5.1.3. Применяемые сырьевые материалы

Основные материалы, используемые при изготовлении тяжелых бетонов повышенной коррозионной стойкости, должны обеспечить выполнение технических требований, предъявляемых к бетону при соблюдении заданных технологических режимов его изготовления.

В качестве сырья для приготовления бетонных смесей предусмотрено применение следующих материалов:

- цементное вяжущее;
- мелкий и крупный заполнители;
- наполнитель в виде стеклянного порошка;
- химические добавки (суперпластификатор и активатор);
- вода затворения.

### **5.1.3.1. Цементы**

В качестве вяжущего материала применяют цемент марки не ниже 400 и соответствующего требованиям ГОСТ 31108-2016 "Цементы общестроительные. Технические условия", (EN 197-1:2011, Cement — Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. IDT ).

Начало схватывания цемента должно наступать не ранее 2-х часов от начала перемешивания бетонной смеси, по согласованию с потребителем допускаются и другие сроки схватывания.

### **5.1.3.2. Заполнители**

В качестве крупного заполнителя применяют щебень, отвечающий требованиям ГОСТ 8267-93 "Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия".

Максимальный размер зерен щебня назначают из условий минимальной толщины изделия и расстояний между стержнями арматуры.

В качестве мелкого заполнителя для бетонной смеси следует использовать природный кварцевый песок с модулем крупности 1,8-2,5, отвечающий требованиям ГОСТ 8736-2014 "Песок для строительных работ. Технические условия".

Наряду с природным песком возможно применение песка из отсевов дробления. При этом необходимо предъявлять требования к марке по прочности исходной породы. Она должна быть не менее 800.

Значение влажности заполнителей необходимо постоянно контролировать для корректировки состава бетонной смеси.




### 5.1.3.3. Наполнитель

Наполнителем и основой органоминерального модификатора бетонной смеси служит молотый стеклобой в виде тонкодисперсного стеклянного порошка, характеризующегося размерами зерен 15...80 мкм. Химический состав и свойства минеральной добавки представлены в таблице 5.6.

Таблица 5.6

Химический состав и свойства минеральной добавки

Содержание оксидов, % Физические свойства	Содержание, %	Внешний вид
SiO <sub>2</sub>	72,5	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,5	
MgO	2,5	
CaO	7	
Na <sub>2</sub> O	15,5	
Истинная плотность, кг/м <sup>3</sup>	2650	
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	600-700	частицы размером 15-80

### 5.1.3.4. Химические добавки

Химические добавки являются частью органоминерального модификатора бетонной смеси, выполняющие определенную функцию в его составе.

В качестве химической добавки, обеспечивающей снижение количества воды затворения и запроектированные показатели подвижности бетонной смеси, применяют суперпластификатор "ПОЛИПЛАСТ СП-1" (ТУ 5870-005-58042865-05 с изм. №1, 2), представляющий собой смесь натриевых солей полиметиленафталинсульфокислот различной молекулярной массы, в виде жидкости темно-коричневого цвета, который должен соответствовать требованиям ГОСТ 24211-2008 "Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия" (с Изменением N 1) (с Поправкой), (EN 934-2:2001

"Admixtures for concrete mortars and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking and labelling")

Как активатор химической реакции в системе "Портландцемент – Молотое стекло" применяют натрий сернокислый технический  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , представляющий собой кристаллический порошок белого цвета и соответствующий требованиям ГОСТ 6318-77 "Натрий сернокислый технический".

Одним из основных условий применения конкретных химических добавок является совместимость с минеральными компонентами, что необходимо проверять в случае изменения поставщика сырьевых материалов.

#### **5.1.3.5. Вода затворения**

Вода, применяемая для затвердения бетонной смеси должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732-2011 "Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия", для чего возможно использовать водопроводную воду, а также любую другую воду. Водородный показатель pH должен быть не менее 4, содержание сульфатов – не более 2700 мг/л (в пересчёте на  $\text{SO}_3$ ), а также всех солей – не более 5000 мг/л.

#### **5.1.4. Проектирование состава тяжёлых бетонов повышенной коррозионной стойкости**

Проектирование и подбор состава бетона должен обеспечить достижение установленных показателей качества при минимальных расходах цемента и включает назначение номинального состава, расчёта и корректировки рабочего состава и передачу на производство рабочих дозировок.

В зависимости от класса сред эксплуатации XF1, XF2, XF3, XF4, XA1, XA2 тяжёлые бетоны должны соответствовать ряду требованиям, указанным в п. 5.1.2.1.

Подбор состава на 1 м<sup>3</sup> бетона производится с расчётом по формулам и таблицам ГОСТ 27006-86 "Бетоны. Правила подбора состава" и с последующим уточнением экспериментальным путём в следующем порядке:

- определяется расчётным путём ориентировочно водоцементное отношение (В/Ц), необходимое для получения заданной прочности бетона при сжатии и на растяжении при изгибе;

- назначается в зависимости от требований к бетону водопотребность бетонной смеси принятой подвижности на основе таблиц и графиков в рекомендуемой литературе;

- рассчитывается по величине водопотребности и В/Ц содержание цемента с учётом требований СНиП 82-02-95 "Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций";

- рассчитывается содержание песка и щебня;

- рассчитывается необходимое количество химических и минеральных добавок в зависимости от расхода цемента;

- состав уточняется экспериментально в лабораторных условиях.

Экспериментально уточнённый состав бетона является номинальным, так как в нём не учтена влажность заполнителей, чтобы получить рабочий состав бетона.

Рабочий состав бетона (содержание воды) корректируют с учётом концентрации водных растворов химических добавок.

В случае применения материалов с характеристиками, отличающимися от базовых, следует корректировать составы бетонной смеси согласно СНиП 82-02-95 "Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций", таблицы 5.3-5.5, для обеспечения выпуска бетона заданного качества.

При использовании цемента марок 500 нормы расхода цемента умножают на коэффициенты, приведенные в таблице 5.3.

Таблица 5.3

## Переходные коэффициенты от марки цемента 400 к марке 500

Условия твердения	Проектный класс бетона по прочности на сжатие	Отпускная прочность бетона, % проектного класса (при изготовлении в заводских условиях)	Коэффициент перехода от марки цемента 400 к цементу марки 500
Естественное твердение при положительной температуре	B20...B35	60-70	0,92
Тепловая обработка	B20 и более	-	0,92

Таблица 5.4

## Коэффициенты, применяемые в зависимости от крупности зерен крупного заполнителя

Наибольшая крупность зерен заполнителя, мм	Коэффициент для классов бетона по прочности на сжатие	
	До B25 включительно	B30 и выше
10	1,1	1,07
40	0,93	0,95
70	0,9	0,92

Таблица 5.5

## Коэффициенты, применяемые при использовании более мелкого песка

Классов бетона по прочности на сжатие	Коэффициент для песка с модулем крупности	
	от 1,5 до 2,1	менее 1,5
B15 и менее	1,00	1,03
B20-B25	0,03	1,06
Более B25	1,05	1,10

### **5.1.5. Оснащение производственной линии технологическим оборудованием**

Оснащение производственной линии предусматривает комплектование технологическим оборудованием и технической документацией.

В состав технической документации входят следующие документы: настоящий технологический регламент; ГОСТ Р 57345-2016 "Бетоны. Общие технические условия" (EN 206-1:2013 "Beton — Festlegung. Eigenschaften. Herstellung und Konformität. IDT ");ГОСТ 31384-2017 "Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования"; ГОСТ 7473-2010 "Смеси бетонные. Технические условия";ГОСТ 31108-2016 "Цементы общестроительные. Технические условия"; (EN 197-1:2011 "Cement — Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. IDT "); ГОСТ 8267-93 "Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия"; ГОСТ 8736-2014 "Песок для строительных работ. Технические условия";СНиП 82-02-95 "Федеральные ( типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций"; ГОСТ 24211-2008 "Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия" (с Изменением N 1) (с Поправкой);(EN 934-2:2001 "Admixtures for concrete mortars and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking and labelling");ГОСТ 6318-77 "Натрий сернокислый технический"; ГОСТ 23732-2011 "Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия"; ГОСТ 27006-86 "Бетоны. Правила подбора состава и с последующим уточнением экспериментальным путём в следующем порядке";ГОСТ 8269.0-97 "Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ". Методы физико-механических испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправками);ГОСТ 8735-88 "Песок для строительных работ. Методы испытаний" (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой);ГОСТ 30459-2008 "Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка

эффективности";ГОСТ 10181-2014 "Смеси бетонные. Методы испытаний";ГОСТ 10180-2012 "Методы определения прочности по контрольным образцам"; ГОСТ 12730.5-84 "Бетоны. Методы определения водонепроницаемости", ГОСТ 12730.3-78 "Бетоны. Метод определения водопоглощения"; ГОСТ 10060-2012 "Бетоны. Методы определения морозостойкости";ГОСТ 24544-81 "Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести".

Состав основного и дополнительного технологического оборудования определен сложившимися производственными условиями и включает комплект действующего типового бетонно-растворного узла:

- силосы для хранения цемента емкостью по 60 т каждый;
- площадки для складирования различных заполнителей;
- бункера для хранения наполнителей, заполнителей, а также устройства по их дозированию;
- отделение для химических добавок;
- система осуществления подачи цемента;
- системы транспортирования заполнителей;
- дозаторы компонентов бетонной смеси;
- бетоносмеситель принудительного действия.

Дополнительно технологическая линия оборудована отделением по приготовлению стеклянного порошка, в котором установлена шаровая мельница производительностью до 2 т/ч и система подачи в расходный бункер и дозатор.

#### **5.1.6. Технология приготовления бетонной смеси**

Приготовление бетонной смеси должно соответствовать требованиям ОНТП-07-85 "Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона".

Основными операциями технологии приготовления и транспортирования бетонных смесей являются:

- доставка и разгрузка материалов;

- складирование и хранение материалов, при необходимости их переработка или подогрев;

- подготовка материалов (подогрев заполнителей в зимнее время и приготовление стеклянного порошка);

- дозирование материалов;

- перемешивание материалов (приготовление смеси);

- выгрузка готовой бетонной смеси в транспортное средство и транспортирование готовой смеси к месту укладки.

Функциональная технологическая схема приготовления бетонной смеси приведена на рисунке 5.1.

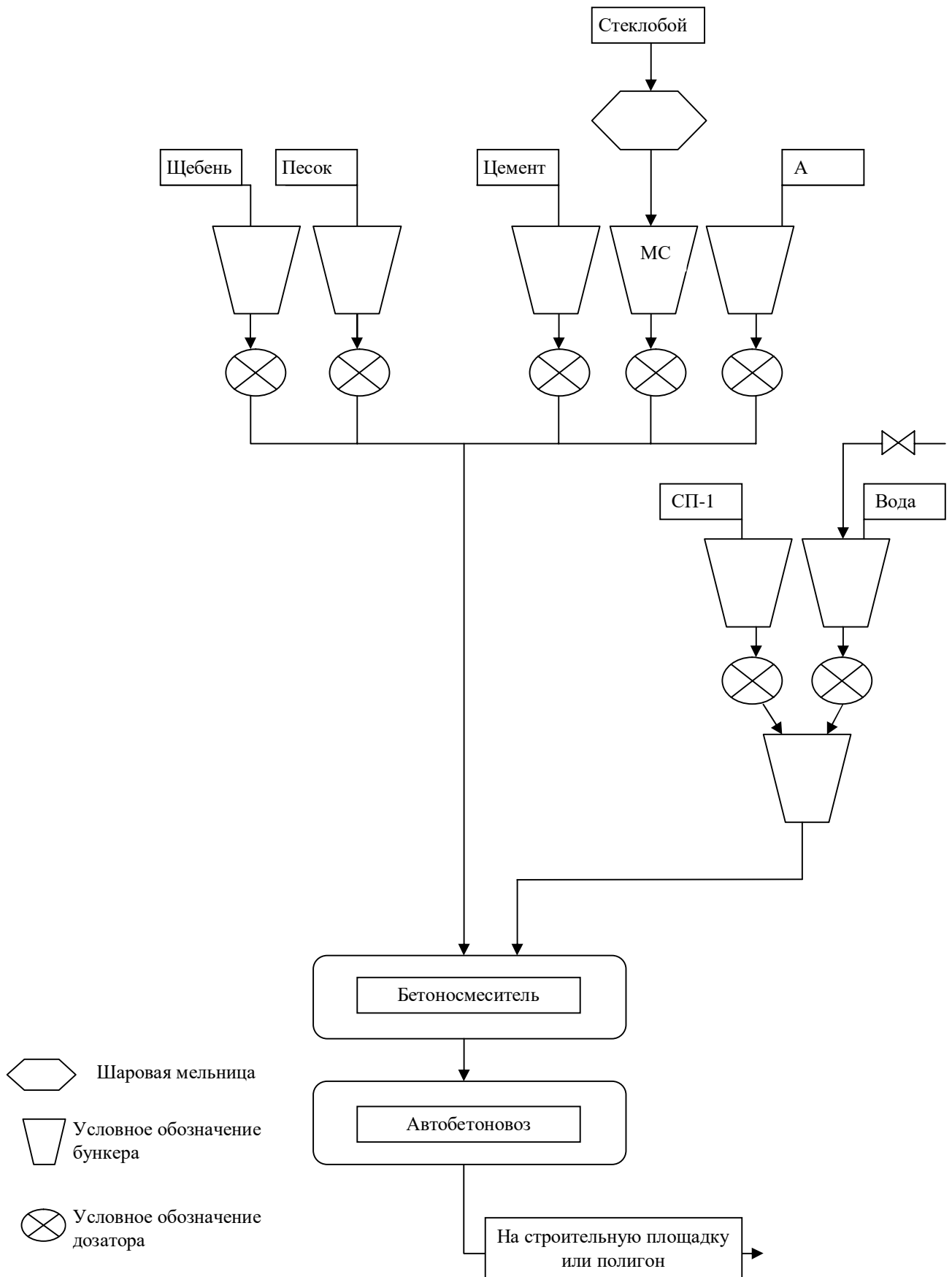


Рис. 5.1. Функциональная схема приготовления бетонной смеси



### 5.1.6.1. Хранение сырьевых материалов

Цемент поступает на склад по железной дороге или автотранспортом и разгружается в силосы пневматическим способом. Цементы разных видов и марок должны храниться отдельно.

В случае смешивания цемента различных марок, его следует расходовать по низшей марке.

Партию вновь привезенного цемента следует загружать в отдельный силос и хранить до получения результатов его лабораторного испытания.

Щебень и песок поступают на предприятие автотранспортом и разгружаются в секции открытого склада отдельно по фракциям.

Стеклобой доставляется автотранспортом и разгружается в отдельную секцию открытого склада, по мере надобности направляется в отделение приготовления МС, где подвергается мойке и сушке моечно-сушильном барабане при температуре 110 - 120°C перед подачей в мельницу.

Площадки складирования материалов должны быть выполнены из твёрдого покрытия с обеспечением организованного водоотвода.

Жидкие химические добавки поступают автотранспортом в металлических емкостях. Жидкие добавки следует хранить в условиях, исключающих замерзание или потерю необходимых свойств, в отделении химических добавок, оборудованном емкостями, устройствами для подогрева, барботирования, промывки трубопроводов и удаления нерастворимых осадков. Температура хранения жидких химических добавок должна составлять 25°C.

Твёрдые химические добавки доставляются автотранспортом как в мешках так и в пакетах. Их необходимо хранить в закрытых складах, обеспечивающих сохранность их свойств и свободную подачу в устройство дозировки.

### **5.1.6.2. Подготовка материалов**

Со складов портландцемент подают пневматическим способом в расходные бункера, обеспечивающие сохранность их технических свойств.

При помощи фронтального погрузчика песок, щебень поступают в накопительные бункера.

В зимнее время при низкой температуре заполнители перед подачей в бетоносмесительную установку необходимо подогревать.

Допускаемая температура заполнителей при загрузке в смеситель должна быть:

- для песка и щебня в диапазоне 5...40°C;
- воды и растворов добавок в диапазоне 5...70°C.

### **5.1.6.3. Дозирование составляющих**

Подготовленные исходные материалы бетонной смеси (кроме цемента и стеклянного порошка) дозируют с корректировкой при изменении их свойств (влажности, температуры, плотности и т.д.).

Для обеспечения точности дозирования необходимо перед началом каждой смены проверять исправность дозаторов и наличие на них пломб проверки.

Дозирование цемента, заполнителей, наполнителя и твёрдых добавок осуществляют по массе. Воду и жидкие добавки допускается дозировать по массе и объёму.

Допускаемая погрешность дозирования исходных материалов приведены в таблице 5.7.

Допускаемая погрешность дозирования в процентах

Наименование материала	Допускаемая погрешность дозирования	
	По массе	По объёму
Портландцемент, стеклянный порошок	$\pm 2$	-
Заполнители	$\pm 2$	-
Твёрдые добавки	$\pm 2$	-
Растворы суперпластификаторов	$\pm 1$	$\pm 1$
Вода	$\pm 2$	$\pm 2$

После автоматического дозирования все твердые составляющие бетона по горизонтальному ленточному конвейеру, а цемент по пневмотранспорту направляются в бетоносмеситель периодического действия.

Вода из трубопровода поступает в приемный бункер и дозатор, а затем в еще один бункер, где смешивается с отдозированным количеством жидкой химической добавки (СП-1), после чего также направляется в бетоносмеситель.

#### 5.1.6.4. Смешивание материалов

Порядок смешивания всех компонентов происходит в два этапа, что обеспечивает максимальное разжижение бетонной смеси, а также максимальное сохранение её подвижности в течение 3-х часов.

На первом этапе все отдозированные твердые материалы из приёмного бункера поступают в бетоносмеситель. Продолжительность перемешивания составляет около 50.

На втором этапе в бетонную смесь вводят отдозированное количество воды с растворенными в ней жидкими химическими добавками (суперпластификатор). Продолжительность перемешивания должна составлять не менее 50 секунд.

Полученная после перемешивания бетонная смесь должна иметь заданную подвижность (16...21 см), а её расслаиваемость не должна превышать 5 %.

С учётом температуры окружающей среды и особенностей дальнейшего применения температура при выходе из смесителя должна быть: не более 35°C, а при укладке в холодное время года на открытой строительной площадке – не менее 30°C, что обеспечивается предварительным подогревом воды затворения до 60...70°C.

При выдаче готовой бетонной смеси в транспортное средство для предотвращения её расслоения максимально допустимая высота свободного падения не должна превышать 2 м.

Для доставки бетонной смеси к месту ее укладки необходимо использовать автомобили-бетоновозы.

#### **5.1.7. Контроль производства и оценка качества продукции**

Бетонная смесь и бетон должны подвергаться производственному контролю под ответственность производителя.

Производственный контроль включает проверку:

- выбора и качества сырьевых материалов;
- проектирование состава бетона;
- технологических режимов приготовления бетонных смесей;
- методов и способов результатов испытаний материалов, бетонной смеси и бетона;
- поверку дозирующего оборудования.

Сырьевые материалы должны отвечать требованиям п. 5.1.3 настоящего технического регламента.

Допускается использовать другие сырьевые материалы, которые соответствуют требованиям нормативных документов и не ухудшают качество бетонных смесей и бетона.

Проектирование состава бетонной смеси следует осуществлять согласно п. 5.1.4.

Точность дозаторов при взвешивании материалов следует контролировать в установленном порядке не реже 1 раз в год.

Приготовление бетонной смеси следует производить согласно технологических режимов, приведенных в п. 5.1.5.

Транспортирование бетонной смеси осуществляется автобетоновозами с соблюдением правил перевозки на этом виде транспорта. При этом необходимо соблюдать меры по исключению загрязнения и расслаиваемости бетонной смеси.

Бетонные смеси должны быть приняты техническим контролем изготовителя. Смеси принимают партиями. В состав партии включают бетонную смесь одного номинального состава, приготовленную на материалах одной и той же партии по единой технологии.

Объем партии бетонной смеси устанавливают в зависимости от требований потребителя, но не более сменной выработки бетоносмесителя.

Влажность заполнителей следует контролировать не реже раза в смену согласно ГОСТ 8269.0-97 "Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ". Методы физико-механических испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправками) и ГОСТ 8735-88 "Песок для строительных работ. Методы испытаний" (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой).

Концентрацию рабочих растворов химических добавок следует проверять не реже чем раз в смену согласно ГОСТ 30459-2008 "Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности".

Подвижность бетонной смеси проверяют не реже раза в смену у изготовителя после 15 минут с момента смешивания сырьевых материалов и у потребителя не позже, чем через 20 минут с момента доставки.

Испытания следует проводить по методике ГОСТ 10181-2014 "Смеси бетонные. Методы испытаний".

Расслаиваемость, объём вовлечённого воздуха и среднюю плотность бетонной смеси следует проверять не реже раза в сутки согласно ГОСТ 10181-2014 "Смеси бетонные. Методы испытаний".

Прочность бетона следует проверять для каждой партии в соответствии с методикой, изложенной ГОСТ 10180-2012 "Методы определения прочности по контрольным образцам".

Водонепроницаемость бетона определяют при подборе состава бетонной смеси и далее каждые шесть месяцев по согласно ГОСТ 12730.5-84 "Бетоны. Методы определения водонепроницаемости".

Водопоглощение бетона определяют один раз в три месяца согласно ГОСТ 12730.3-78 "Бетоны. Метод определения водопоглощения".

Морозостойкость бетона следует определять при подборе состава бетонной смеси и далее каждые шесть месяцев в соответствии ГОСТ 10060-2012 "Бетоны. Методы определения морозостойкости", ускоренным методом в соляном растворе.

Усадку бетона следует контролировать не реже раз в год согласно ГОСТ 24544-81 "Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести".

Каждая партия бетонной смеси должна сопровождаться документом о качестве по форме согласно ГОСТ 7473-2010 "Смеси бетонные. Технические условия".

#### **5.1.8. Прием бетонной смеси на площадке**

При производстве товарного бетона важно, чтобы была документально согласована стандартная процедура для приемки бетонной смеси на строительной площадке. Производителю и заказчику необходимо согласовать эту процедуру в контракте. Она должна включать в себя визуальный осмотр каждой партии бетона и проведение испытаний для определения параметров соответствия.

### **5.1.9. Техника безопасности при производстве работ и охрана окружающей среды**

Техника безопасности – это комплекс технических и организационных мероприятий, направленных на обеспечение безопасных условий труда путём предупреждения и устранения причин несчастных случаев. К таким мероприятиям можно отнести: разработку правил по технике безопасного проведения работ, ограждение частей машин и механизмов, которые вращаются, заземление электроприборов, постов, знание трудящимися правил по технике безопасности. Основы техники безопасности в строительстве представлены СНиП 12-04-2002 "Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство".

Профилактика противопожарного режима заключается в знании причин возникновения пожара, определении наиболее эффективного метода его тушения, способы и средства ликвидации за наиболее короткий срок, в строгом порядке соблюдения правил пожарной безопасности.

Работники, которые приняты на работу, должны проходить обучения и инструктаж по технике безопасности методов и условий труда. Повторный инструктаж проводят для всех работников не ранее одного раза в три месяца.

Все работы, связанные с производством бетонных смесей должны выполняться механизированным способом.

При приготовлении бетонной смеси необходимо следить за исправностью работы вентиляции, герметизации кабины пульта управления дозаторами и смесителями.

При вращении вала бетоносмесителя категорически запрещается выполнять работы, связанные с очисткой барабана, вала, лопастей, мелким ремонтом. Все работы разрешается выполнять только при полной остановке бетоносмесителя и выключенном от источника тока оборудовании, механизмов. На пульте управления должен быть вывешенный плакат: "Не включать, работают люди!".

Воздух рабочей зоны промышленных помещений должен отвечать требованиям ГОСТ 12.1.005-88 "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны". Предельно допустимая концентрация (ПДК) и класс безопасности вредных веществ рабочей зоны при производстве блоков отвечают величинам, приведенным в таблице 5.8.

Таблица 5.8

ПДК и класс безопасности воздуха рабочей зоны

Наименование материала	Величина ПДК, мг/м <sup>3</sup>	Преимущественное агрегатное состояние в условиях производства	Класс безопасности
Цемент	10	а	III
Химические добавки	2	а	III

Периодичность контроля содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны должна соответствовать ГОСТ 17.2.3.02-2014 "Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями".

Контроль за содержанием вредных веществ и пыли в рабочей зоне должен выполняться согласно требованиям ГОСТ 12.1.005-88 "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны".

Воздух рабочей зоны и микроклимат в производственных помещениях должно отвечать требованиям ГОСТ 12.1.005-88 "ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны", СНиП 2.04.05-91 "Отопление, вентиляция и кондиционирование". Относительная влажность воздуха в рабочей зоне не менее 50 %.

При производстве бетонной смеси и устройства дорожных одежд работники должны быть обеспечены индивидуальными средствами защиты: спецодежда согласно ГОСТ 12.4.280-2014 "Система стандартов безопасности труда (ССБТ).



Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие технические требования", очками, согласно ГОСТ Р 12.4.013-97 "Система стандартов безопасности труда. Очки защитные. Общие технические условия", рукавицами, согласно ГОСТ 12.4.261.2-2014 (ISO 11933-2:1987) "Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты рук. Перчатки камерные. Общие технические требования", респираторами ШБ-1, "Лепесток", согласно ГОСТ 12.4.028-86 "ССБТ. Респираторы ШБ-1 "Лепесток".

Работы с добавками необходимо проводить согласно СНиП 12-04-2002 "Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство".

Производство бетонной смеси должно производиться согласно требований ГОСТ 12.1.004-91 "Пожарная безопасность. Общие требования".

Электробезопасность на бетонном заводе и строительной площадке должна быть обеспечена в соответствии с СНиП 12-03-2001 "Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования".

Организация строительной площадки, участков работ и рабочих мест должна обеспечить безопасность труда работающих на всех этапах производства работ.

Строительная площадка, участки работ и рабочие места, проезды и проходы к ним в тёмное время суток должны быть освещены в соответствии с СНиП 12-03-2001 "Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования".

Освещение должно быть равномерным без слепящего действия приспособлений для работающих. Производство работ в неосвещённых местах не проводится.

Скорость движения автотранспорта вблизи мест производства работ должна быть ограничена 10 км/ч на прямых участках 5 км/ч на поворотах.

Материалы следует размещать на выровненных площадках и принимать меры против самопроизвольного смешивания, просадки, осыпания и раскатывания складироваемых материалов.

Технологическое оборудование и коммуникации должны быть надёжно заземлены согласно требованиям ГОСТ 12.1.019-2017 "Система стандартов

безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты", и ГОСТ 12.1.018-93 "ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования", СНиП 12-04-2002 "Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство".

Уровень шума в рабочей зоне и промышленных помещениях не должен превышать 80 ДбА.

Технические и бытовые сточные воды должны сливаться в канализацию согласно требованиям СанПиН 2.1.5.980-00 Гигиенические требования к охране поверхностных вод".

Погрузочно-разгрузочные работы должны выполнять согласно требованиям ГОСТ 12.3.009-76 "ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности" СНиП 12-04-2002 "Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство".

## **5.2. Экономическая эффективность**

В разделе представлены данные о технико-экономических показателях производства модифицированных бетонных смесей (далее по тексту МБС), модифицированных органоминеральным модификатором на основе стеклянного порошка. Приводится расчет экономической эффективности производства бетонных железобетонных конструкций (дорожные бордюры, водоприемники, фундаментные блоки, плиты перекрытия, ригели, колонны, балки, опоры мостов) при использовании разработанного органоминерального модификатора.

Данный расчет показывает экономический эффект (по состоянию выпуска продукции в 2018 году и работе предприятия на полную мощность) при использовании в производстве предприятия в ООО "Домостроительный комбинат" ООО (далее по тексту ООО "ДСК") МБС, для производства бетонных и железобетонных конструкций, в том числе эксплуатирующихся в агрессивных средах.

Для производства модифицированных бетонных смесей и бетонов на предприятии ООО "ДСК" есть все необходимые производственные мощности, а в частности: шаровая мельница для производства стеклянного порошка, емкости для хранения стеклянного порошка, бетонный узел оборудован дополнительным дозатором (рисунок 5.2).



Рис. 5.2. Бетонный узел предприятия ООО "ДСК"

Фактические объемы выпуска продукции, ООО "ДСК" в период 2015-2018 гг. по данным этого предприятия представлены в таблице 5.9.

Таблица 5.9

Фактические объемы выпуска продукции, ООО "ДСК" в период 2015-2018 гг.

№ п/п	Год	Объем, м <sup>3</sup>
1	2015	1840
2	2016	850
3	2017	480
4	2018	596

Данные по номенклатуре, характеристике и объемам выпущенной бетонной смеси в 2018 году предприятием ООО "ДСК" для производства бетонных и железобетонных конструкций представлены в таблице 5.10.

Таблица 5.10

Номенклатура и объем выпущенного бетона предприятием ООО "ДСК" в 2018 году

№ п/п	Наименование продукции	Класс бетона	Объем, м <sup>3</sup> (V <sub>б</sub> )
1	Дорожные бордюры, водоприемники	B7,5	80
2	Фундаментные блоки	B15	110
3	Плиты перекрытий	B20	256
4	Ригели, колоны, балки, опоры мостов	B30	150
	Всего (VS <sub>б</sub> ):		596

Нормы расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона при использовании в качестве мелкого заполнителя песка Кондрашевского песчаного карьера Луганской области с модулем крупности 1,1, для классов бетона B7,5, B15, B20 и B30 приведены в таблице 5.11.

Таблица 5.11

Нормы расхода цемента на 1 м<sup>3</sup> бетона

№ п/п	Класс бетона	Расход цемента, кг/м <sup>3</sup> (P <sub>ц</sub> )
1	B7,5	220
2	B15	270
3	B20	350
4	B30	440

Средневзвешенный расход цемента (P) на 1 м<sup>3</sup> выпущенной бетонной смеси определяется по формуле:

$$P = V_{\text{б}} \cdot P_{\text{ц}} / VS_{\text{б}} = 80 \cdot 220 + 110 \cdot 270 + 256 \cdot 350 + 150 \cdot 440 / 80 + 110 + 256 + 150 = 340 \text{ кг. (5.1) } \times \times \times$$

где  $V_6$  – объем бетонной смеси определенного класса по прочности при сжатии  
выпущенный в 2018 году,  $\text{м}^3$ ;

$P_c$  – расход цемента для определенного класса бетона по прочности при сжатии, кг;

$SV_6$  – суммарный объем бетонной смеси,  $\text{м}^3$ .

Экономия при снижении расхода цемента на 8,7% на 1  $\text{м}^3$  за счет использования при производстве бетонных смесей и бетонов органоминерального модификатора составляет:

$$\varepsilon = P/1,087 = 340/1,087 = 312 \text{ кг}; \quad (5.2)$$

$$\varepsilon = P - \varepsilon = 340 - 312 = 28 \text{ кг}. \quad (5.3)$$

В результате чего годовой экономический эффект от снижения расхода цемента при производстве бетонной смеси объемом 596  $\text{м}^3$  (по факту) составил:

$$\varepsilon_{\text{год}} = VS_6 \times 28 = 596 \times 28 = 16,7 \text{ т}; \quad (5.4) \times$$

$$\varepsilon_{\text{год}}^1 = \varepsilon_{\text{год}} \times C_c = 16,7 \times 6,4 = 106,88 \text{ тыс. руб.} \quad (5.5) \times$$

При выходе работы предприятия на проектную мощность (60000  $\text{м}^3$  бетона в год), годовой экономический эффект от снижения расхода цемента составит:

$$\varepsilon_{\text{год}} = VS_6 \times 28 = 60000 \times 28 = 1680 \text{ т}; \quad (5.6) \times$$

$$\varepsilon_{\text{год}}^1 = \varepsilon_{\text{год}} \times C_c = 1680 \times 6,4 = 10752,0 \text{ тыс. руб.} \quad (5.7) \times$$

Расчет был произведен на основании данных представленных предприятием ООО "ДСК" и согласно справке о внедрении результатов научных исследований (Приложение А).

### Выводы по разделу 5

1. Разработан "Технологический регламент изготовления модифицированных бетонных смесей для тяжелых бетонов повышенной коррозионной стойкости".

2. Выполнен расчет годового экономического эффекта от объема реализованных в ООО "ДСК" МБС для производства бетонных и железобетонных конструкций, в том числе эксплуатирующихся в агрессивных средах.

3. Установлено, что в результате снижения расхода цемента годовой экономический эффект по фактически выпускаемым объемам бетона и железобетона в настоящее время составит – 106,88 тыс. руб., а при выходе работы предприятия на проектную мощность ( $60000 \text{ м}^3/\text{год}$ ) годовой экономический эффект – 10752,0 тыс. руб.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Теоретически и экспериментально обосновано решение важной народнохозяйственной задачи - повышение коррозионной стойкости тяжелых бетонов введением в его состав органоминерального модификатора, влияющего на структуру и свойства бетонной смеси и бетона.

2. Выполнен анализ существующих представлений о коррозионных процессах, происходящих в тяжелых бетонах, способов повышения их коррозионной стойкости и обоснован состав органоминерального модификатора на основе тонкодисперсного стеклянного порошка, полученного помолом стеклобоя, доступного и недорогого суперпластификатора на основе полиметиленнафталинсульфоната и активатора химической реакции в системе "портландцемент – стеклянный порошок" сульфата натрия.

3. Установлено, что органоминеральный модификатор положительно влияет на текучесть цементного теста и ее сохраняемость во времени в течение 90 минут выдержки, повышает прочность цементного камня до 30% в стандартном возрасте в зависимости от концентрации молотого стекла в органоминеральном модификаторе, что подтверждается повышением интенсивности дифракционных отражений линий гидросиликатов кальция C–S–H при рентгенофазовом анализе продуктов гидратации.

4. Определены области оптимальных составов бетонных смесей по содержанию органоминерального модификатора по критериям подвижности бетонной смеси и прочности бетона при сжатии, обеспечивающие получение бетонных смесей марки по подвижности S4 и пределом прочности при сжатии в проектном возрасте не менее 45 МПа, способных работать в агрессивных средах следующих классов по эксплуатации: XO, XF1, XF2, XF3, XF4, XA1, XA2.

5. Наиболее представительным по прочности в стандартном возрасте является состав №1 (с концентрацией МС=4%), который показал увеличение прочности в стандартном возрасте по сравнению с контрольным на 7%, а составы

№2 и 3 (с концентрацией МС=12 и 20% соответственно) практически равнозначны с контрольным составом.

6. Установлено, что введение в состав бетонных смесей органоминерального модификатора позволяет получить бетоны, эксплуатирующиеся при сульфатной коррозии и коррозии выщелачивания, с повышенным значением коэффициента коррозионной стойкости 0,95...1,09.

7. Установлено, что деформации усадки бетона в возрасте 98 суток твердения для образцов контрольного состава составили  $49 \cdot 10^{-5}$ , состава №1 -  $35 \cdot 10^{-5}$ , состава №2 -  $30 \cdot 10^{-5}$ , состава №3 -  $24 \cdot 10^{-5}$ , что на 29, 38, 48% соответственно меньше показателей усадки контрольного состава. При этом стабилизация показателей усадки у всех составов наступила достаточно рано – в пределах 56 суток твердения бетона, что доказывает предположение о протекании щелочной реакции в течении 24...28 часов и дальнейшим отсутствием расширения образцов.

8. Применение органоминерального модификатора при изготовлении тяжелых бетонных смесей позволяет зафиксировать также следующую технико-экономическую эффективность:

- повышение прочности бетона, как в процессе набора, так и в проектном возрасте до 8% в зависимости от концентрации МС в составе органоминерального модификатора;

- повышение марки бетона по водонепроницаемости W4 до W8 и морозостойкости F200 до F300;

- снижение расхода цемента без снижения класса бетона по прочности на  $40 \text{ кг/м}^3$  (8,7%).

9. Разработан технологический регламент производства модифицированных бетонных смесей для изготовления изделий и конструкций повышенной коррозионной стойкости. Выполнен расчет экономического эффекта от реализованных модифицированных бетонных смесей, в результате которого установлено, что при снижении расхода цемента годовой экономический эффект по фактически выпускаемым объемам бетона и железобетона на предприятии



ООО "Домостроительный комбинат" ( $596 \text{ м}^3$ ) в настоящее время составляет 106,88 тыс. руб., а при выходе работы предприятия на проектную мощность ( $60000 \text{ м}^3/\text{год}$ ) годовой экономический эффект составит– 10752,0 тыс. руб.

10. Использование техногенного сырья (стеклобоя) в производстве модифицированных бетонов повышенной коррозионной стойкости позволит не только улучшить их эксплуатационные свойства, а значит повысить надежность и долговечность конструкций, эксплуатирующихся в агрессивных средах, а так же снизить себестоимость конечной продукции, нагрузку на природные ресурсы и улучшить экологическую обстановку в регионе.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адсорбция из растворов на поверхности твердых тел: Пер. с англ. / Под ред. Г. Парфита, К. Рочестера. – М.: Мир, 1986. – 488 с.
2. Адсорбция органических веществ из воды / А.М. Когановский, Н.А. Клименко, Т.М. Шевченко, И.Г. Рода. – Л.: Химия, 1990. – 256 с.
3. Алексеев, С.Н. Долговечность железобетона в агрессивных средах [Текст] / С.Н. Алексеев, Ф.М. Иванов, С. Модры, П. Шиссль. - Москва: Стройиздат, 1990. – 320 с.
4. Асирян, А.М. Основы повышения прочности бетонов: дис. в виде науч. доклада ... доктора техн. наук: 05.23.05 / А.М. Асирян . – Ереван, 2000. – 75 с.
5. Афанасьев, Н.Ф., Целуйко, М.К. Добавки в бетоны и растворы / Н.Ф. Афанасьев, М.К. Целуйко. – К.: Будивэльник, 1989. – 128 с.
6. Бабков, В.В. Структурообразование и разрушение цементных бетонов [Текст] / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов, П.Г. Комохов. - Уфа: ГУП «Уфимский полиграфкомбинат», 2002. - 376 с.
7. Баженов, Ю.М. Бетоны: технологии будущего / Ю.М. Баженов // Современные стройматериалы. – 2005. – июль-август. – С. 50-52.
8. Баженов, Ю.М. Конструирование структур современных бетонов: определяющие принципы и технологические платформы / Ю.М. Баженов, Е.М. Чернышов, Д.Н. Коротких // Строительные материалы. – 2014. – Т. 3(711). – С. 6-14.
9. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны: [науч. изд-е] / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: Изд-во АСВ, 2006. – 368 с.
10. Баженов, Ю.М. Современная технология бетона / Ю.М. Баженов // Технологии бетонов. – 2005. – № 6. – С. 6-8.
11. Батраков, В.Г. Адсорбция и пластифицирующий эффект суперпластификатора С-3 в зависимости от состава цемента / В.Г. Батраков, Т.Е. Тюрина, В.Р. Фаликман // Бетоны с эффективными модифицирующими

добавками: сб. науч. трудов; под ред. Ф.М. Иванова, В.Г. Батракова. – М.: НИИЖБ, 1985. – С. 8-14.

12. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. 2-е изд, переработанное и дополненное [Текст] / В.Г. Батраков.– Москва: 1998. - 768 с.

13. Батраков, В.Г. Модификаторы бетона: новые возможности и перспективы / В.Г. Батраков // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 4-7.

14. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика / В.Г. Батраков.– Москва: Технопроект, 1998. – 768 с.

15. Батудаева, А.В. Высокопрочные модифицированные бетоны из самовыравнивающихся смесей / А.В. Батудаева, Г.С. Кардумян, С.С. Каприелов // Бетон и железобетон. – 2005. – № 4. – С. 14-18.

16. Бетоны с эффективными модифицирующими добавками. Сб. научных трудов. / Под. ред. Ф.М. Иванова, В.Г. Батракова. – М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1985. – 157 с.

17. Битое стекло вместо бетона [Электронный ресурс]: - режим доступа: <http://ecology.md/pege/bitoe-steklo-vmesto-betona>.

18. Бондарь, А.Г. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии (алгоритмы и примеры): Учеб. пособие. [Текст] / А.Г. Бондарь, Г.А. Статюха, И.А. Потяженко. – Киев: Вища шк., 1980. – 264 с.

19. Вагнер, Г.Р. Физико-химия процессов активации цементных дисперсий / Г.Р. Вагнер. – К.: Наук. думка, 1980. – 200 с.

20. Влияние минеральных добавок на свойства бетона [Электронный ресурс]: - режим доступа: <https://midas-beton.ru/влияние-минеральных-добавок-на-свойс/>

21. Вовк, А.И. Адсорбция суперпластификаторов на продуктах гидратации минералов портландцементного клинкера. Закономерности процесса и строение адсорбционных слоев / А.И. Вовк // Коллоид. ж. – 2000. – Т. 62, № 2. – С. 161–169.

22. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества: учеб. для вузов [Текст] / А.В. Волженский. – Москва: Стройиздат, 1986. - 464 с.

23. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ [Текст] / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев. – Москва: Высшая шк., 1981. – 335 с.

24. ГОСТ 31383-2008. Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Методы испытаний [Текст]. – Москва: Изд-во стандартов, 2008. – 24 с .

25. Гусев, Б.В. Математическая модель процессов атмосферной коррозии бетонов с учетом фазовых переходов [Текст] / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович // Вестник Волгогр. гос. архит.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архит. - 2013. - Вып. 31 (50). Ч. 2. Строительные науки. - С. 308-325.

26. Гусев, Б.В. Обобщенные уравнения коррозии бетона (Атмосферная коррозия) [Текст] / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович // Изд-е 2, дополненное, переработанное. – Москва: Научный мир, 2011. с.

27. Гусев, Б.В. Прогнозирование долговечности бетона при выщелачивании [Текст] / Б.В. Гусев, А.С. Файвусович. – Москва: Научный мир, 2014. с.

28. Гусев, Б.В. Формирование структуры композиционных материалов и их свойства [Текст] / Б.В. Гусев, В.И. Кондращенко, Б.П. Маслов, А.С. Файвусович. – Москва: Научный мир, 2006. - 560с.

29. Дворкин, Л.И. Высокопрочные бетоны на основе литых бетонных смесей с использованием полифункционального модификатора, содержащего метакаолин / Л.И. Дворкин, Н.В. Лушникова // Бетон и железобетон. – 2007. – № 1. – С. 2-8.

30. Добавки в бетон: [справ. пособие] / [Рамачандран В.С., Фельдман Р.Ф., Коллепарди М. и др.]. – М.: Стройиздат, 1988. – 575 с.

31. Добшиц, Л.М. Пути повышения долговечности цементных бетонов [Текст] / Л.М. Добшиц // ВИНТИ РАН. Транспорт: Наука, техника, управление. – 2002. N12. – С. 31-34.

32. Дорофеев, В.С. Технологическая поврежденность строительных материалов и конструкций / В.С. Дорофеев, В.Н. Выровой. – Одесса, 1998. – 168с.

33. Дрозд, Г.Я. Потенциал развития сектора обращения с отходами на Луганщине [Текст] / Г.Я. Дрозд // Вестник ЛНУ им. В. Даля. – Луганск: 2017. - №3(5) часть 2. – С. 53-64.

34. Зайченко, Н.М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой: дисс... д-ра техн. наук: 05.23.05 / Н.М. Зайченко. – Макеевка: ДонНАСА, 2009. – 356 с.
35. Зайченко, Н.М. Высокопрочные тонкозернистые бетоны с комплексно модифицированной микроструктурой [монография] / Макеевка: ДонНАСА, 2009. – 207 с.
36. Иванов, Ф.М. Эффективность использования суперпластификаторов / Ф.М. Иванов // Бетоны с эффективными модифицирующими добавками: сб. науч. тр.; под ред. Ф.М. Иванова, В.Г. Батракова. – М.: НИИЖБ, 1985. – С. 3-7.
37. Изотов, В.С. Химические добавки для модификации бетона: монография / В.С. Изотов, Ю.А. Соколова. – М.: Казанский Государственный архитектурно-строительный ун-т: Изд-во "Палеотип", 2006. – 244 с.
38. Калашников, В.И. Расчет состава высокопрочных самоуплотняющихся бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 4-6.
39. Калашников, В.И. Через рациональную реологию в будущее бетонов. Ч.1-Ч.3. От высокопрочных и особовысокопрочных бетонов будущего к суперпластифицированным бетонам общего назначения настоящего / В.И. Калашников // Технологии бетонов. – 2008. – № 1. – С. 22-25.
40. Каприелов, С.С. Влияние состава органоминеральных модификаторов серии "МБ" на их эффективность / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 2001. – № 5. – С. 11-15.
41. Каприелов, С.С. Модифицированные бетоны нового поколения: реальность и перспектива / С.С. Каприелов, В.Г. Батраков, А.В. Шейнфельд // Бетон и железобетон. – 1999. – № 6. – С. 6-10.
42. Каприелов, С.С. Общие закономерности формирования структуры цементного камня и бетона с добавкой ультрадисперсных материалов / С.С. Каприелов // Бетон железобетон. – 1995. – № 4. – С. 16-20.
43. Кетов, П. Использование вяжущих свойств дисперсных силикатных стекол при утилизации стеклобоя [Текст] / П.А.Кетов, В.С.Корзанов, С.И.Пузанов // Строит. Материалы. 2007. № 5. - С. 2–3.

44. Комохов, П.Г. Наукоемкая технология конструкционного бетона как композиционного материала (часть 1) / П.Г. Комохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 4. – С. 36-37.
45. Комохов, П.Г. Наукоемкая технология конструкционного бетона как композиционного материала (часть 2) / П.Г. Комохов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 5. – С. 26-27.
46. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости / В.И. Соломатов, В.Н. Выровой, В.С. Дорофеев, А.В. Сиренко. – К.: Будивэльник, 1991. – 144 с.
47. Коротких, Д.Н. О требованиях к наномодифицирующим добавкам для высокопрочных цементных бетонов / Д.Н. Коротких, О.В. Артамонова, Е.М. Чернышов // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2009. – № 2. – С. 42-49.
48. Коротких, Д.Н. Повышение прочности и трещиностойкости структуры со временных цементных бетонов: проблемы материаловедения и технологии: автореф. дис. на соиск. уч. степени докт. техн. наук.: спец. 05.23.05 "Строительные материалы и изделия" / Д.Н. Коротких. – Воронеж, 2014. – 41 с.
49. Коррозионная стойкость бетона, арматуры и железобетона в агрессивных средах [Текст]: сб. научных трудов НИИЖБ. – Москва: 1988. – 129 с.
50. Кузнецова, Е.Ф. Эффективные литые бетоны с использованием отходов камнеобработки: дисс... канд. техн. наук: 05.23.05 / Е.Ф. Кузнецова. – Кострома: ФГБОУ ВПО КГСА, 2014. – 149 с.
51. Кузнецова, Т.В. Алюминатные и сульфоалюминатные цементы [Текст] / Т.В. Кузнецова. - Москва: Стройиздат, 1986. - 208 с.
52. Лотов, В.А. Нанодисперсные системы в технологии строительных материалов и изделий / В.А. Лотов // Строительные материалы – Наука. – 2006. – № 8. – С. 5-7.
53. Минаков, С.В. Влияние электроповерхностных свойств минеральных добавок на эффективность разжижителей цементных систем: дисс... канд. техн. наук: 05.23.05 / С.В. Минаков. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2011. – 131 с.

54. Модификация литой бетонной смеси воздухововлекающей добавкой / Н.И. Ватин, Ю.Г. Барабанщиков, М.В. Комаринский, С.И. Смирнов // Magazine of Civil Engineering. – 2015. No.4. – С. 3-10.

55. Москвин, В.М. Коррозионные процессы в бетоне и способы их предотвращения [Текст] / В.М. Москвин, Г.С. Рояк // Транспортное строительство. 1979. N 9. - С. 47-48.

56. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев // Москва: Стройиздат, 1980. - 533 с.

57. Москвин, В.М. Коррозия бетона [монография] /В.М. Москвин. - Москва: Госстройиздат,1952. – 344с

58. Мчедлов-Петросян О.П. Химия неорганических строительных материалов [Текст] / О.П. Мчедлов-Петросян. – Москва: Стройиздат, 1971 – 224 с.

59. Наполнители для полимерных композиционных материалов: справ. пособие; [пер. с англ.]; под ред. П.Г. Бабаевского. – М.: Химия, 1981. – 736 с.

60. Несветаев, Г.В. Некоторые вопросы применения добавок для бетонов / Г.В. Несветаев // Бетон и железобетон. – 2011. – № 2. – С. 78-80.

61. Несветаев, Г.В. Проектирование макроструктуры самоуплотняющейся бетонной смеси и ее растворной составляющей / Г.В. Несветаев, Ю.Ю. Лопатина // Наукоедение. – 2015. – Т. 7, No 5(30). – Режим доступа к журн.: <http://naukovedenie.ru/PDF/48TVN515.pdf>.

62. Несветаев, Г.В. Самоуплотняющиеся бетоны: прочность и проектирование состава / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Строительные материалы. – 2009. – № 5. – С. 54-57.

63. Несветаев, Г.В. Технология самоуплотняющихся бетонов / Г.В. Несветаев // Строительные материалы. – 2008. – № 639. – С. 24-28.

64. Николаенко, Н.В. Специфическая адсорбция полярных органических соединений из водных растворов на межфазной границе дисперсных систем твердое тело-жидкость. – дис. ... . докт. химич. наук: 02.00.11 – Днепропетровск, 2003. – 343 с.



65. О влиянии суперпластификаторов и минеральных добавок на величину начального модуля упругости цементного камня и бетона / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардумян, Та Ван Фан, Л. Хомич // Новые технологии. – Майкоп: ФГБОУ ВПО "МГТУ". – 2012. – Вып. 4. – С. 118-121.

66. Ольгинский, А.Г. Особенности контактообразования в цементных бетонах с минеральным микронаполнителем / А.Г. Ольгинский // Вісник Донбаської держ. академії буд-ва і арх-ри. – 2004. – Вип. 2004-1(43), Т. 1. – С. 134-140.

67. Ольгинский, А.Г. Процессы гидратации портландцемента с минеральной пылью различного состава / А.Г. Ольгинский // Изв. ВУЗов "Строительство". – 1991. – № 12. – С. 50-53.

68. Паркер, Д.Дж. Бетон с содержанием микрокремнезема. Ч . 1: Материал /Д. Дж. Паркер // Concrete Society, Current Practice Sheet. – 1985. – № 104.

69. Плугин, А.А. Физико-химическая модель долговечности бетона и железобетона [Текст] / А.А. Плугин // Зб. наук. праць. Харків: 2006.- Вип.77. - С.240.

70. Плугин А.Н. Коллоидно-химические основы прочности, разрушения и долговечности бетона и железобетонных конструкций [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин // Цемент. - 1997 - № 2 - С. 28 – 32.

71. Плугин, А.Н. Физико-математические модели долговременной ползучести и безнапорной водопроницаемости цементного камня и бетона [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, О.А. Калинин, С.В. Мирошниченко, С.Н. Кудренко, А.В. Никитинский, В.А. Лютый // Зб.наук. праць ЛНАУ. Серія: Технічні науки.- Луганськ: Видавництво ЛНАУ, 2004-М49(52). - С. 145-154.

72. Подвальный, А.М. Физико-химическая механика основа научных представлений о коррозии бетона и железобетона [Текст] / А.М. Подвальный // Бетон и железобетон. 2002. N 5. - С. 23-27.

73. Полак , А.Ф. Моделирование коррозии железобетона и прогнозирование его долговечности [Текст] / А.Ф. Полак // В кн.: Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии. т. X1. - Москва: ВИНТИ, 1986. - С. 136-180.



74. Практическое бетоноведение [Электронный ресурс] / Дворкин Л.И., Дворкин О.Л., Бордюженко О.М., Гарницкий Ю.В., Житковский В.В. – Режим доступа: <http://subscribe.ru/archive/home.build.penobeton/200808/25211157.html>.

75. Пунагина, Ю.В. Модифицированные бетонные смеси для восстановительных работ на транспортных сооружениях [Текст] / Ю.В. Пунагина // Актуальні проблеми та наукові звершення молоді на початку третього тисячоліття: Матеріали тез I всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрантів, аспірантів і докторантів. Частина II. Луганськ, 12-14 листопада 2008 р. – Луганськ: Елтон-2.– С. 142-143.

76. Ратинов, Б.В. Добавки в бетон / Б.В. Ратинов, Т.И. Розенберг. – Москва: Стройиздат, 1989. – 186 с.

77. Ребиндер, П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Коллоидная химия [Текст]/П.А. Ребиндер.- Москва: Наука, 1978.– 368с.

78.Рекомендации по применению добавок суперпластификаторов в производстве сборного и монолитного железобетона. Москва: НИИЖБ, 1987. – 90с.

79. Розенталь, Н.К. Коррозионная стойкость цементных бетонов низкой и особо низкой проницаемости [Текст] / Н.К. Розенталь Москва: ФГУП ЦПП, 2006. - 520 с.

80.Рояк, Г.С. Внутренняя коррозия бетона [Текст] / Г.С. Рояк // Труды ЦНИИС, Вып. 210. – Москва: ЦНИИС, 2002. – 156 с .

81. Сивков, С. П. Термодинамический анализ причин коррозии цемента, сопровождающейся образованием вторичного этtringита [Текст] / С.П. Сивков, Н.Н. Корж // Техника и технология силикатов. 2000. N 1-2. - С. 22-24.

82. Соломатов, В.И. Особенности формирования свойств цементных композиций при различной дисперсности цементов и наполнителей / В.И. Соломатов, О.В. Кононова // Изв. вузов "Строительство и архитектура". – 1991. – № 5. – С. 42-45.

83. Тейлор, Х. Химия цемента [пер. с англ.] / Х. Тейлор. – М.: Мир, 1996. – 560 с.

84. Ушеров-Маршак, А.В. Добавки в бетон: прогресс и проблемы / А.В. Ушеров-Маршак // Строительные материалы. – 2006. – № 10. – С. 8-12.
85. Ушеров-Маршак, А.В. Добавки в бетон. Систематика и оценка эффективности [Текст] / А.В. Ушеров-Маршак, И.А. Залуцкая // Строительные материалы и изделия. – 2004. - № 2. – С. 15-18.
86. Ушеров-Маршак, А.В. Современный бетон и его технологии / А.В. Ушеров-Маршак // Бетон и железобетон. – 2009. – Вып. 2. – С. 20-25.
87. Ушеров-Маршак, А.В. Украинский бетон по пути в Европу / А.В. Ушеров-Маршак // Дни современного бетона: VI междунар. науч.-практ. конф., 7-9 июня, 2004 г.: сб. докл. – Запорожье: ООО "Будиндустрия ЛТД", 2004. – С. 14-22.
88. Файвусович, А.С. Влияние влагопереноса на кинетику процесса коррозии [Текст] / А.С. Файвусович, В.А. Рязанова, Т.А. Хохленко // Зб.наук. праць. – Киев: 2002. – Вип. 56.– С. 424-431.
89. Файвусович, А.С. Физико-математическое моделирование процессов коррозии III вида с учетом влагопереноса [Текст] / А.С. Файвусович, В.А. Рязанова, Г.Г. Бурцев, Т.А. Хохленко // Сб. Современные проблемы строительства. - Донецк: ООО «Лебедь», 2002. - С. 208-218.
90. Федосов, С.В. Сульфатная коррозия бетона [Текст] / С.В. Федосов, С.М. Базанов. Москва: Издательство АСВ, 2003. - 192 с., ил.
91. Халюшев, О.К. Бетони на основі композиційних цементів, активованих у високовольтному електричному полі: дис... канд. техн. наук: 05.23.05 / О.К. Халюшев. – Макіївка: ДонНАБА, 2010. – 22 с.
92. Халюшев, А.К. Оптимизация состава композиционных цементов с минеральными добавками на основе отходов промышленности / А.К. Халюшев, Н.М. Зайченко, С.С. Поливцев // Зб. наук. праць "Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди". – Рівне: Вид-во НУВГП, 2008. – Вип. 16 (Ч. 1). – С. 103-110.
93. Чепурная, С.Н. Коррозионная стойкость бетона на основе вяжущего компонента, содержащего [Текст] / С.Н.Чепурная // Містобудування та

територіальне планування: Науково-технічний збірник. - Киев: КНУБА, 2009. Вип. 35. - С.468-471.

94. Чернышев, Е.М. Модифицирование структуры цементного камня микро- и наноразмерными частицами кремнезема (вопросы теории и приложений) / Е.М. Чернышев, Д.Н. Коротких // Строительные материалы, оборудование и технологии XXI века. – 2008. – № 5. – С. 30-32.

95. Чернявский, В.Л. Адаптация бетона [Текст] / В.Л. Чернявский. - Днепропетровск: Нова ідеологія, 2002.-115с.

96. Шейкин, А.Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости [Текст] / А.Е. Шейкин, Л.М. Добшиц. -Львов: Стройиздат, 1989. – 128 с.: ил.

97. Шейнфельд, А.В. Научные основы модифицирования бетонов комплексными органоминеральными добавками на основе техногенных пуццоланов и поверхностно-активных веществ: дисс... докт. техн. наук: 05.23.05 / А.В. Шейнфельд. – М.: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева, 2015. – 40 с.

98.Штарк, И. Долговечность бетона [Текст] / И. Штарк, Б. Вихт. – Киев: Оранта, 2004. – 301 с.

99. Електричні впливи на бетон (електрообробка та захист від електрокорозії бетонів, виробів і конструкцій із них): монографія; за ред. проф. А.А. Плугіна і проф. М.М. Зайченка, Харків: Форт, 2013. – 300 с.

100. Юхневский, П.И. Влияние химической добавки на свойства бетонов [Текст] / П.И. Юхневский. – Минск: БНТУ, 2013. – 310 с.

101. A contribution to the explanation of the action principles of organic plasticizers / T. Sebök, J. Krejčí, A. Musil, J. Šimoník // Cem. Concr. Res. – 2005. – Vol. No 8. – P. 1551-1554.

102. Adsorption characteristics of superplasticizers on cement component minerals / K. Yoshioka, E. Tazawa, K. Kawai, T. Enohata // Cem. Concr. Res. – 2002. – Vol. 32, No 10. – P. 1507-1513.

103. Agarwal, S.K. Compatibility of superplasticizers with different cements / S.K. Agarwal, T. Masood, S.K. Malhotra // Construction and Building Materials. – 2000. – Vol. 14, No 5. – P. 253-259.

104. Aiad, I. Influence of time addition of superplasticizers on the rheological properties of fresh cement pastes / I. Aiad // *Cement and Concrete Research*. – 2003. – Vol. 33, No 8. – P. 1229-1234.
105. Alonso, M.M. Compatibility between polycarboxylate-based admixtures and blended-cement pastes / M.M. Alonso, M. Palacios, F. Puertas // *Cement and Concrete Composites*. – 2013. – Vol. P. 151-162.
106. Application of a New Superplasticizer for Ultra High-Strength Concrete / K. Mitsui, T. Yonezawa, M. Kinoshita, T. Shimono // *the IV CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete: ACI SP-148-2*, 1994: Proc. – Detroit (USA), 1994. – P. 27-37.
107. Artelt, C. Impact of superplasticizer concentration and ultra-fine particles on the rheological behaviour of dense mortar suspensions / C. Artelt, E. Garcia // *Cement and Concrete Research*. – 2008. – Vol. 38, No 5. – P. 633-642.
108. Barabanshchikov, Yu. G. On the influence on the efficiency of anti-shrinkage additives superplasticizer / Yu.G. Barabanshchikov, A.A. Arkharova, M.V. Ternovskii // *Magazine of Civil Engineering*. – 2014. – Issue 7. – P. 23-30.
109. Brouwers H.J.H. Self-Compacting Concrete: Theoretical and experimental study / H.J.H. Brouwers , H.J. Radix // *Cement and Concrete Research*. – 2005. –Vol. 35(11). – P. 2116-2136.
110. Byars, E.A. Use of glass for construction products: legislative and technical issues H. Zhu, C. Meyer // *Sustainable Waste Management: Proceedings of the International Symposium 9–11 September 2003, Dundee UK*. - P. 827–838.
111. Chatveera, B. Effect of sludge water from ready-mixed concrete plant on properties and durability of concrete / B. Chatveera, P. Lertwattanakul, N. Makul // *Cement and Concrete Composites*. – 2006. – Vol. P. 441-450.
112. Collepardi, M. A Very Close Precursor of Self-Compacting Concrete (SCC) / M. Collepardi // *ACI Intern. Symp. on Sustainable Development and Concrete Technology*. – S. Francisco, 16-19 September 2001. P. 23-28.
113. Collepardi, M. Innovative Concretes for Civil Engineering Structures: SCC, HPC and RPC // *Proceedings of the Workshop on New Technologies and Materials*

in Civil Engineering. – Milan, Italy. – 2003. – P. 1-8.

114. Collepardi, M. Low-Slump-Loss Superplasticized Concrete / M. Collepardi, M. Corradi, M. Valente // Pubblicato su Superplasticizers in Concrete: Transportation Research Board and National Academy of Sciences, 1979: Proc. – Washington D.C. (USA), 1979. – P. 7-12.

115. Collepardi, M. Recent Developments in Superplasticizers / M. Collepardi, M. Valente // the 8-th Intern. Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 2006: Proc. – Sorrento (Italy), 2006. – P. 1-14.

116. Damtoft J.S. Concrete binders, mineral additions and chemical admixtures: state of the art and challenges for the 21st century / J.S. Damtoft, D. Herfort, E. Yde // Creating with Concrete: the International Conf., 1999: Proc. – Dundee (Scotland), 1999. – P. 1-15.

117. Dispersing agents for cement based on modified polysaccharides / M.C. Vieira, D. Klemm, L. Einfeldt, G. Albrecht // Cement and Concrete Research. – 2005. – Vol. 35, No 5. – P. 883-890.

118. Effects of admixtures on hydration of cement, adsorptive behavior of admixture and fluidity and setting of fresh cement paste / H. Uchikawa, S. Hanehara, T. Shirasaka, D. Sawaki // Cem. Concr. Res. – 1992. – Vol. 22, No 6. – P. 1115-1122.

119. Erdoğan, S. Effect of retempering with superplasticizer admixtures on slump loss and compressive strength of concrete subjected to prolong mixing / S. Erdoğan // Cement and Concrete Research. – 2005. – Vol. 35, No 5. – P. 907-912.

120. Flatt, R.J. The rheology of cementitious materials / R.J. Flatt, N.S. Martys, L. Bergström // MRS Bulletin. – 2004. – Vol. 29, No 5. – P. 314-318.

121. Geffroy, C. The Frontier Between Adsorption and Precipitation of Polyacrylic Acid on Calcium Carbonate. / C. Geffroy, J. Persello, A. Foissy B. Cabane. F. Tournilhac // Rev Inst Fr Petrole 52 (1991). P. 183-190.

122. Grabiec, A.M. Study on compatibility of cement-superplasticiser assisted by multicriteria statistical optimization / A.M. Grabiec, Z. Piasta // J. of Materials Processing Technology. – 2004. – Vol. 152. P. 197-203.

123. Hanehara, S. Rheology and early age properties of cement systems / S. Hanehara, K. Yamada // *Cement and Concrete Research*. – 2008. – Vol. 38, No 1. – P. 175-195.
124. Influence of superplasticizer type and mix design parameters on the performance of them in concrete mixtures. / I. Papayianny, G. Tsohos, N. Oikonomou, P. Mavria // *Cement and Concrete Composites*. – 2005. – 27. P. 217-222.
125. Kaprielov, S.S. Properties of Concrete with Complex Modifier Based on Silica Fume and Superplasticizer / S.S. Kaprielov, A.V. Sheinfeld, V.G. Batrakov // the Fifth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 1997: Proc. – Rome (Italy), 1997. – P. 123–136.
126. Kong, H.J. Effects of a strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions / H.J. Kong, S.G. Bike, V.C. Li // *Cem. Concr. Res.* – 2006. – Vol. 36, No 5. – P. 851-857.
127. Lea, F.M. The chemistry of cement and concrete / F.M. Lea, C.H. Desch // London, 1935. pp.
128. Mechanical, rheological, durability and microstructural properties of high performance self-compacting concrete containing SiO<sub>2</sub> micro and nanoparticles / M. Jalal, E. Mansouri, M. Sharifipour, A.R. Pouladkhan // *Materials and Design*. – Vol. 34. – 2012. – P. 389-400.
129. Mechanism of Actions of Different Superplasticizers for High-Performance Concrete / S. Collepardi, L. Coppola, R. Troli, M. Collepardi // *High-Performance Concrete. Performance and Quality of Concrete Structures: Atti del Second CANMET/ACI International Conf.*, 1999: Proc. – Gramado (Brazil), 1999. – P. 503-523.
130. Merlin, F. Adsorption and heterocoagulation of nonionic surfactants and latex particles on cement hydrates / F. Merlin, H. Guitouni et al. // *J. of Colloid and Interface Science*. – 2005. – Vol. 281. P.1-10.
131. Meyer, C. Concrete with waste glass as aggregate N. Egosi, C. Andela Recycling and Reuse of glass Cullet: // *Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK*. - P. 179–181.

132. Mihai, P. Characteristics of concrete with admixtures / P Mihai, B. Rosca // Buletinul Institutului Politehnic DIN IASI: Publicat de Universitatea Tehnica "Gheorghe Asachi" din Iasi Tomul LIV (LVIII), Fasc. 4, Sectia CONSTRUCTII. ARHITECTURA, 2008. – P. 49-53.

133. Nakajima, Y. The effect of the kind calcium sulfate in cements on the dispersing ability of poly  $\beta$ -naphthalene sulfonate condensate superplasticizer / Y. Nakajima, K. Yamada // Cement and Concrete Research. – 2004. – Vol. 34, No 5. – P. 839-844.

134. Nawa, T. Effect of Alkali Sulfate on the Rheological Behavior of Cement Paste Containing a Superplasticizer / T. Nawa, H. Eguchi, Y. Fukaya // the Third International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, 1989: Proc. – Ottawa (Canada), 1989. – P. 405-424.

135. Nepomuceno, M. Methodology for mix design of the mortar phase of selfcompacting concrete using different mineral additions in binary blends of powders / M. Nepomuceno, L. Oliveira, S.M.R. Lopes // Construction and Building Materials. – 2012. – Vol. 26, pp. 317-326.

136. Ozawa, K. Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Self-Compacting Concrete / K. Ozawa, M. Ouci // Tokyo, 2001. pp.

137. Palacios, M. Effect of superplasticizer and shrinkage-reducing admixtures on alkali-activated slag pastes and mortars / M. Palacios, F. Puertas // Cement and Concrete Research, 2005. V. 35, No. 7. P. 1358-1367.

138. Phan, T.H. Influence of organic admixtures on the rheological behavior of cement pastes / T.H. Phan, M. Chaouche, M. Moranville // Cement and Concrete Research. – 2006. – Vol. 36, No 10. – P. 1807-1813.

139. Prince, W. Ettringite formation: A crucial step in cement superplasticizer compatibility / W. Prince, M. Espagne, P-C. A itcin // Cement and Concrete Research. – 2003. – Vol. 33, No 5. – P. 635-641.

140. Quercia G. Application of nano-silica (nS) in concrete mixtures / G. Quercia, H.J.H. Brouwers // 8th fib PhD Symposium in Kgs. Lyngby, Denmark. – June 20-23, 2010.



141. Remarque, W. Glass powder as a reactive addition for blast furnace cements D. Heinz, C. Schleusser // Recycling and Reuse of glass Cullet: Proceedings of International Symposium 19–20 March 2001, Dundee UK. - P. 229–238.

142. Rivera-Villarreal, R. Concrete superplasticizers admixtures / R. Rivera-Villarreal // Creating with Concrete: International Conf., 1999: Proc. – Dundee (Scotland), 1999. – P. 391-407.

143. The adsorption behaviour of PNS superplasticizer and its relation to fluidity of cement paste / B. Kim, S. Jiang, C. Jolicoeur, P.-C. A itcin // Cem. Concr. Res. – 2000. – Vol. 30, No 6. – P. 887-893.

144. Torresan, I. Interaction between Superplasticizers and Limestone Blended Cements – Rheological Study / I. Torresan, R. Magarotto, N. Zeminian // the Sixth CANMET/ACI International Conf. on Superplasticizers and Other Chemical Admixtures in Concrete, SP-195, 2000: Proc. – Nice (France), 2000. – P. 229-247.

145. Uchikawa, H. Hydration of Cement and Structure Formation and Properties of Cement Paste in the Presence of Organic Admixtures / H. Uchikawa // Concrete in the Service of Mankind: Conf., 1995: Proc. – Dundee (Scotland), 1995. – P. 3-47.

146. Uchikawa, H. Influence of kind and added timing of organic admixtures on the composition, structure and property of fresh cement pastes / H. Uchikawa, D. Sawaki, S. Hanehara // Cem. Concr. Res. – 1995. – Vol. 25, No 2. – P. 353-364.

147. Zaichenko, N.M. High-strength fine-grained concretes with modified mineral admixtures of fly ash and milled slag of power station / N.M. Zaichenko, A.K. Khalyushev, E.V. Sakhoshko // Alkali Activated Materials – Research, Production, Utilization: International Conf., June 2007: Proc. – Prague (Czech R.), 2007. – P. 745-756.

148. Zhang, Min-Hong. Use of nano-silica to increase early strength and reduce setting time of concretes with high volumes of slag / M.-H. Zhang, J. Islam, S. Peethamparan // Cement and Concrete Composites. – 2012. – Vol. P. 650-662.



## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ДСК»

91047 Луганская Народная Республика, г.Луганск, ул.Фабричная,1

№ 32/05 от 08.10.18

Утверждаю:  
Директор ООО «ДСК»  
Кудинов С.И.



«08» октября 2018 г.

Диссертационный совет Д 01.006.02 при  
ГОУ ВПО «Донбасской национальной  
академии строительства и архитектуры»

#### СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Сороканич Станислава Васильевича на тему «Тяжелые бетоны повышенной коррозионной стойкости с модификатором на основе стеклянного порошка» представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, при использовании бетонных смесей, модифицированных органоминеральным модификатором на основе стеклянного порошка, при производстве монолитных железобетонных конструкций при устройстве опор моста через р. Лугань.

В период с 02.04.20018 по 06.04.2018 г. представителем ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет им. В. Даля », Институт строительства и жилищно-коммунального хозяйства Назаровой А.В. к.т.н., с.н.с., доцентом кафедры городское и промышленное строительство и представителем ГОУ ЛНР Луганский национальный аграрный университет Сороканич С.В., старшим преподавателем кафедры технологии и организации строительного производства, при участии представителя ООО «Домостроительный комбинат» Русина М.Н., главного инженера, осуществлен выпуск и опытно-промышленные испытания бетонных смесей и бетонов модифицированных органоминеральным модификатором на основе стеклянного порошка (ОММ\*) при производстве монолитных железобетонных конструкций в объеме 18 м<sup>3</sup> при устройстве опор моста через р. Лугань.

В результате проведенных испытаний принято решение относительно внедрения предложенных составов бетонных смесей, бетонов, которые содержат органоминеральный модификатор на основе стеклянного порошка. Показатели качества бетонных смесей и бетонов представлены в таблице 1.

Таблица 1.

**Свойства модифицированных бетонных смесей и бетона**

№	Наименование показателя	Единицы измерения	Показатели для бетонных смесей, бетона			
			базового варианта		с добавкой ОММ	
1	Подвижность бетонной смеси (осадка конуса)	см	П4 (16-21)		П4 (16-21)	
2	Среднее значение прочности бетона при сжатии (класс бетона)	МПа	44,6 (В30)		47,9 (В35)	
3	Коэффициент коррозионной стойкости	-	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ДВ	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
			0,72	0,76	0,96	1,09

Расчет себестоимости бетонных смесей, бетонов (базового варианта) и модифицированных ОММ\* по основному показателю – стоимости сырьевых материалов представлен в таблице 2.

Таблица 2.

**Расчет себестоимости бетонных смесей, бетонов**

№	Наименование показателя	Ед. изм.	Показатели для бетонных смесей, бетонов	
			базовый вариант	с ОММ
1	2	3	4	5
1	Стоимость исходных компонентов:			
	- портландцемент М 500	руб./т	6400	
	- щебень (5-20 мм)		450	
	- песок кварцевый		400	
	- вода водопроводная		24,76	
	- стеклянный порошок		500	
	- сперпластификатор СП-1		68000	
	- сульфат натрия		7500	
2	Расход исходных компонентов:			
	- портландцемент М 500	т/м³	0,460	0,420
	- щебень (5-20 мм)		1,140	1,140
	- песок кварцевый		0,560	0,577
	- вода водопроводная		0,210	0,200
	- стеклянный порошок		-	0,018
	- сперпластификатор СП-1		0,00285	0,00285
	- сульфат натрия		-	0,0047

1	2	3	4	5
3	<b>Себестоимость бетонной смеси, бетона:</b>			
	- портландцемент М 500	руб./ м <sup>3</sup>	0,460х6400=2944,0	0,420х6400=2688,0
	- щебень (5-20 мм)		1,14х450=554,0	1,14х450=554,0
	- песок кварцевый		0,634х400=253,6	0,66х400=264,0
	- вода водопроводная		0,174х24,76=4,3	0,168х24,76=4,5
	- стеклянный порошок		-	0,018х500=9,0
	- суперпластификатор СП-1		0,00285х68000=193,8	0,00285х68000=193,8
	- сульфат натрия		-	0,0047х7500=35,2
	<b>ВСЕГО:</b>	руб.	<b>3949,70</b>	<b>3748,5</b>


Расчетный экономический эффект при выпуске бетона 18 м<sup>3</sup> при внедрении в результате снижения себестоимости составляет:

$$E = (3949,7 - 3748,5) \times 18 = 3621,6 \text{ руб.}$$

\* Органоминеральный модификатор (ОММ) - представляет собой комплекс состоящий из молотого тонкодисперсного стекла (результат переработки твердых бытовых отходов) с суперпластификатором СП-1 и активизатором Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

Представители ГОУ ЛНР ЛНАУ:

к.т.н., с.н.с., доцент А.В. Назарова



ст. пр. С.В. Сороканич



Представители ООО «ДСК»

главный инженер М.Н. Русин




главный бухгалтер А.А. Яровая



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО  
ХОЗЯЙСТВА ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ  
"ДОМОСТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ"

СОГЛАСОВАНО:

Главный инженер  
предприятия ООО "ДСК"  
 М.Н. Русин  
"12" 09 2018г.


УТВЕРЖДАЮ:


Директор  
предприятия ООО "ДСК"  
 С.И. Кудинов  
"12" 09 2018г.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ  
МОДИФИЦИРОВАННЫХ БЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ДЛЯ ТЯЖЕЛЫХ БЕТОНОВ  
ПОВЫШЕННОЙ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ

РАЗРАБОТАНО:

Доцент кафедры  
"Городское строительство и хозяйство"  
ГОУ ВПО ЛНР "ЛНУ им. В. Даля"  
ИСА и ЖКХ  
К.т.н., с.н.с.  
 А.В. Назарова  
"12" 09 2018г.

Ст. преп. кафедры  
"Технологии и организации  
строительного производства"  
ГОУ ЛНР ЛНАУ  
 С.В. Сороканич  
"12" 09 2018г.

Луганск - 2018



## ПРИЛОЖЕНИЕ В



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ЛУГАНСКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
**«ЛУГАНСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ГОУ ЛНР ЛНАУ)

91008, Луганская Народная Республика, г. Луганск, Артемовский район, городок ЛНАУ, 1  
Тел.: (0642) 96-60-40. Факс: (0642) 96-71-13, e-mail: [rector@lnau.su](mailto:rector@lnau.su) <http://www.lnau.su>

29.11.2018 № 01/1823  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Диссертационный совет Д 01.006.02 при  
ГОУ ВПО «Донбасской национальной  
академии строительства и архитектуры»

## СПРАВКА

о внедрении результатов исследований диссертационной работы Сороканича  
Станислава Васильевича на тему «Тяжелые бетоны повышенной коррозионной  
стойкости с модификатором на основе стеклянного порошка» представленную на  
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности  
05.23.05 – Строительные материалы и изделия

Комиссия в составе: первого проректора к.т.н., доцента Матвеева В.П.,  
декана строительного факультета к.т.н., доцента Бреуса Р.В., руководителя  
учебным отделом к.т.н., доцента Брюховецкого А.Н. свидетельствует, что при  
подготовке бакалавров, специалистов, магистров по направлению 08.03.01,  
08.05.01, 08.04.01 «Строительство», «Строительство уникальных зданий и  
сооружений», используются теоретические и экспериментальные данные по  
кандидатской диссертационной работе Сороканича Станислава Васильевича  
«Тяжелые бетоны повышенной коррозионной стойкости с модификатором на  
основе стеклянного порошка» на втором и третьем курсе в дисциплинах  
«Строительные материалы» и «Производственная база строительства».

Члены комиссии:

Первый проректор  
к.т.н., доцент

*В.П. Матвеев*

В.П. Матвеев

Декан строительного факультета  
к.т.н., доцент



Р.В. Бреус

Руководитель учебного отдела  
к.т.н., доцент

А.Н. Брюховецкий

3 4 8 8 7 0

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Перечень нормативно-технической документации, на которую даны ссылки в разработанном регламенте

п/п	Обозначение	Наименование нормативно-технической документации
1	2	3
1	ГОСТ Р 57345-2016	"Бетоны. Общие технические условия"
2	ГОСТ 31384-2017	"Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования"
3	ГОСТ 7473-2010	"Смеси бетонные. Технические условия"
4	ГОСТ 31108-2016	"Цементы общестроительные. Технические условия"
5	ГОСТ 8267-93	"Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия"
6	ГОСТ 8736-2014	"Песок для строительных работ. Технические условия"
7	СНиП 82-02-95	"Федеральные (типовые) элементные нормы расхода цемента при изготовлении бетонных и железобетонных изделий и конструкций"
8	ГОСТ 24211-2008	"Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия" (с Изменением N 1) (с Поправкой)
9	ГОСТ 6318-77	"Натрий сернокислый технический"
10	ГОСТ 23732-2011	"Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия"
11	ГОСТ 27006-86	"Бетоны. Правила подбора состава и с последующим уточнением экспериментальным путём в следующем порядке"
12	EN 206-1:2013	"Beton — Festlegung. Eigenschaften. Herstellung und Konformitat. IDT"
13	EN 197-1:2011	"Cement — Part 1: Composition, specifications and conformity criteria for common cements. IDT"
14	EN 934-2:2001	"Admixtures for concrete mortars and grout - Part 2: Concrete admixtures - Definitions, requirements, conformity, marking and labelling"

1	2	3
15	ТУ 5870-005-58042865-05 с изм. №1, 2	"Суперпластификатор "ПОЛИПЛАСТ СП-1" Технические условия"
16	ГОСТ 8269.0-97	"Щебень и гравий из плотных горных пород и отходов промышленного производства для строительных работ". Методы физико-механических испытаний (с Изменениями N 1, 2, с Поправками)
17	ГОСТ 8735-88	"Песок для строительных работ. Методы испытаний" (с Изменениями N 1, 2, с Поправкой)
18	ГОСТ 30459-2008	"Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности"
19	ГОСТ 10181-2014	"Смеси бетонные. Методы испытаний"
20	ГОСТ 10180-2012	"Методы определения прочности по контрольным образцам"
21	ГОСТ 12730.5-84	"Бетоны. Методы определения водонепроницаемости"
22	ГОСТ 12730.3-78	"Бетоны. Метод определения водопоглощения"
23	ГОСТ 10060-2012	"Бетоны. Методы определения морозостойкости"
24	ГОСТ 24544-81	"Бетоны. Методы определения деформации усадки и ползучести"
25	СНиП 12-04-2002	"Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство"
26	ГОСТ 12.1.005-88	"ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны"
27	ГОСТ 17.2.3.02-2014	"Правила установления допустимых выбросов загрязняющих веществ промышленными предприятиями"
28	СНиП 2.04.05-91	"Отопление, вентиляция и кондиционирование"
29	ГОСТ 12.4.280-2014	"Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Одежда специальная для защиты от общих производственных загрязнений и механических воздействий. Общие технические требования"
30	ГОСТ Р 12.4.013-97	"Система стандартов безопасности труда. Очки защитные. Общие технические условия"
31	ГОСТ 12.4.261.2-2014 (ISO 11933-2:1987)	"Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты рук. Перчатки камерные. Общие технические требования"

1	2	3
32	ГОСТ 12.4.028-86	"ССБТ. Респираторы ШБ-1 "Лепесток""
33	ГОСТ 7473-2010	"Смеси бетонные. Технические условия".
34	СНиП 12-04-2002	"Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство"
35	ГОСТ 12.1.004-91	"Пожарная безопасность. Общие требования"
36	СНиП 12-03-2001	"Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования"
37	ГОСТ 12.1.019-2017	"Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты"
38	ГОСТ 12.1.018-93	"ССБТ. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования"
39	СанПиН 2.1.5.980-00	"Гигиенические требования к охране поверхностных вод "
40	ГОСТ 12.3.009-76	"ССБТ. Работы погрузочно-разгрузочные. Общие требования безопасности"