

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Комплексный научно-исследовательский институт  
им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук

*На правах рукописи*



**Узаева Аминат Альвиевна**

**КОМПЛЕКСНЫЕ РЕМОНТНЫЕ СОСТАВЫ НА ОСНОВЕ  
БАРХАННОГО ПЕСКА**

05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор Батаев Д. К - С.

Грозный – 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	4
<b>ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	14
1.1 Особенности ремонтных составов и возможные пути повышения их свойств	14
1.2 Основные виды дефектов бетонов и причины их образования	25
1.3 Опыт применения барханного песка в строительстве	36
1.4 Цель и задачи диссертационного исследования	44
<b>ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ КАК АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОМОЛОТЫХ ВЯЖУЩИХ</b>	46
2.1 Методы исследования и применяемые материалы	47
2.1.1 Характеристика сырьевых материалов	47
2.1.2 Методика проведения исследований	55
2.2 Исследование свойств барханного песка для дальнейшего использования в ремонтных модифицированных составах из мелкозернистого бетона	62
2.3 Исследование дисперсности барханного песка	69
2.4 Разработка рецептур, активированных тонкомолотых вяжущих на основе барханного песка	79
2.5 Исследование влияния наполнителей из барханного песка на процессы структурообразования цементного камня	92
2.6 Исследование влияния барханного песка на процессы структурообразования щелочного цементного камня	96
2.7 Исследование влияния наполнителей из барханного песка на свойства цементного камня	100
Выводы по второй главе	108
<b>ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕМОНТНЫХ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СОСТАВОВ НА БАРХАННЫХ ПЕСКАХ</b>	110
3.1 Типы структур ремонтных составов из мелкозернистых бетонов и соответствующие схемы их взаимодействия	112
3.2 Влияние гранулометрии и вида заполнителя на свойства ремонтных составов на барханных песках	116
3.3 Исследование технологических свойств ремонтных модифицированных составов на барханных песках	125
3.3.1 Определение водоудерживающей способности	125
3.3.2 Исследование удобоукладываемости ремонтной	

модифицированной мелкозернистой смеси	131
3.3.3 Исследование реологических свойств ремонтной модифицированной мелкозернистой смеси	137
3.3.4 Исследование сохраняемости ремонтной модифицированной мелкозернистой смеси	148
3.5 Усадочные деформации ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках	151
3.6 Физико-механические свойства ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках	157
3.7 Эксплуатационные свойства ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках	165
3.7.1 Водостойкость	165
3.7.2 Морозостойкость и водонепроницаемость	168
Выводы по третьей главе	174
<b>ГЛАВА 4. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРОАКТИВИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТНЫХ СОСТАВОВ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ НА ОСНОВЕ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ</b>	177
4.1 Рекомендации по ремонту бетонных и железобетонных конструкций модифицированным составом из мелкозернистого бетона на барханном песке	177
4.2 Расчёт себестоимости ремонта железобетонных конструкций модифицированным составом из мелкозернистого бетона на барханном песке	182
4.3 Технология производства тонкомолотых вяжущих на основе барханного песка	185
4.4 Внедрение результатов работы	187
Выводы по четвертой главе	187
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	191
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	195
Приложение 1. Справка о внедрении результатов исследований	210
Приложение 2. Акт о внедрении опытной партии	211
Приложение 3. Технические условия	212
Приложение 4. Технологический регламент	220
Приложение 5. Стандарт организации	229

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Длительная эксплуатация и различного рода дефекты бетонных и железобетонных конструкций провоцируют развитие процессов старения и коррозионного разрушения, что вызывает необходимость проведения ремонтных и реконструктивных работ, чтобы продлить жизненный цикл бетонного композита и, следовательно, долговечность здания в целом.

Существующие методы ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструкций сводятся к наращиванию "старого" бетона новыми слоями из однородного материала, к обжатию стальными обоями или полностью замене дефектной конструкции. При этом нужно отметить, что перечисленные приемы довольно недешевые и весьма трудоемкие.

В связи с этим поиск новых эффективных материалов и технологий для ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструкций является актуальной задачей и отвечает требованиям разработанного Правительством Российской Федерации проекта стратегического развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года, в котором четко обозначена одна из тенденций развития строительной индустрии – выпуск новых типов композитных строительных материалов, более энергоэффективных, менее материалоемких, повышающих эксплуатационную надежность и долговечность зданий и сооружений.

В рамках этой концепции была поставлена задача максимально использовать техногенное и местное природное некондиционное сырье, в частности, барханные пески в технологии ремонта бетонных и железобетонных изделий и конструкций.

Барханные пески отличаются повышенным содержанием частиц пылевидной фракции, поэтому для традиционного применения в качестве мелкого заполнителя бетона необходимо их обогащать крупными песками,

но не менее целесообразно их активировать и направленно использовать его потенциальные возможности для снижения материальных и энергетических затрат при производстве специальных гидравлических вяжущих для ремонтных составов.

Поэтому разработка эффективных рецептур вяжущего с использованием барханных песков, как местного природного ресурса, для последующего получения модифицированных ремонтных составов с улучшенными характеристиками, является актуальной задачей повышения качества работ по ремонту и восстановлению несущей способности конструктивных элементов зданий и сооружений.

**Степень изученности проблемы.** Анализ научных трудов ведущих российских и зарубежных ученых Баженова Ю.М., Комохова П.Г., Лесовика В.С., Каримова И.Ш., Батаева Д.К.-С., Чистова Ю.Д., Соломатова В.И., Несветаева Г.В., Хаджишалапова Г.Н., Хежева Т.А., Кокоева М.Н., Моргун Л.В., Муртазаева С.-А.Ю., Мажиева Х.Н., Гольдын М.Б., Барканова М.Б., Федоровича В.А., David Tabor, L.Sarcar Shondeep, Yaya Diatta, и многих других показал, что имеются теоретические основы и значительный опыт проектирования составов и технологии производства ремонтных работ, есть разработки по рациональному использованию барханных песков Средней Азии, но теоретических и практических подходов к использованию огромных запасов песчаных отложений древнего Каспия, входящих в состав юго-западной окраины Прикаспийской низменности фактически, нет. Барханные, бугристые, слабо закреплённые и подвижные пески занимают значительную площадь данного региона. Процессы формирования структуры и свойств ремонтных составов на основе некондиционных барханных песков не изучены и, учитывая остроту проблемы восстановления несущей способности и продления срока эксплуатации несущих бетонных и железобетонных конструкций, требуют весьма серьезного изучения. Поэтому очевидна актуальность проектирования ремонтных составов с использованием полиминеральных барханных песков, входящих в состав

активированного вяжущего в качестве наполнителя, и являющихся одним из основных компонентов обогащённого заполнителя.

**Цель и задачи диссертационного исследования.** Целью диссертационного исследования является разработка рецептур комплексных модифицированных ремонтных составов на основе барханных песков для ремонта и восстановления несущей способности конструктивных элементов зданий и сооружений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать свойства барханных песков как минеральной добавки для получения тонкомолотых вяжущих;
- разработать рецептуры, активированных тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков;
- исследовать влияние наполнителей из барханных песков на процессы структурообразования и свойства цементного камня;
- разработать рецептуры ремонтных модифицированных составов на барханных песках;
- изучить влияние гранулометрии и вида заполнителя на свойства модифицированного ремонтного состава;
- исследовать технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства предлагаемых комплексных ремонтных модифицированных составов;
- разработать рекомендации по ремонту бетонных и железобетонных конструкций с применением комплексного ремонтного модифицированного состава;
- выполнить производственное внедрение разработанного ремонтного модифицированного состава;
- определить технико-экономическую эффективность использования, разработанного комплексного ремонтного модифицированного состава при ремонте бетонных, железобетонных и каменных конструкций.

**Рабочая гипотеза диссертационного исследования** – сводится к определению возможности получения комплексных модифицированных ремонтных составов с улучшенными характеристиками на основе барханных песков с целью восстановления несущей способности изделий и конструкций и продления срока их службы. Для подтверждения данной гипотезы необходимо установить зависимость между свойствами предлагаемых модифицированных ремонтных составов на барханных песках и рецептурой наполненного вяжущего с комплексным использованием портландцемента, минерального и полимерного компонента, выявить оптимальное содержание вводимых добавок, исследовать процессы формирования структуры и технологии ремонтных модифицированных составов.

**Объект исследования:**

- виброактивированные тонкомолотые вяжущие, содержащие портландцемент, барханный песок и суперпластификатор С-3;
- обогащенный заполнитель, полученный смешиванием отсева дробления и барханного песка;
- технология ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов.

**Предмет исследования:**

- теоретические положения формирования структуры ремонтных модифицированных составов и процесса структурообразования цементного камня из активированного в шаровой вибрационной мельнице тонкомолотого вяжущего, состоящего из портландцемента, барханного тонкой гранулометрии песка и суперпластификатора С-3 в зависимости от рецептурно- технологических факторов;
- получение комплексных модифицированных ремонтных составов с улучшенными технологическими, реологическими, физико-механическими, деформативными и эксплуатационными свойствами.

**Область исследования** соответствует требованиям паспорта научной специальности ВАК: 05.23.05 – Строительные материалы и изделия, пункту 7

«Разработка составов и принципов производства эффективных строительных материалов с использованием местного сырья и отходов промышленности».

**Научная новизна диссертационного исследования:**

– установлена возможность эффективного использования некондиционных барханных песков месторождения Шелковское в качестве минеральной добавки для получения тонкомолотых вяжущих и обогащения отсева дробления горных пород;

– установлено влияние рецептурно-технологических факторов активации тонкомолотого вяжущего, таких как вид помольного оборудования, продолжительность механоактивации, степень наполнения системы барханным песком и ПАВ, количество цемента на начальный период формирования структуры и качественные показатели полученных тонкомолотых вяжущих;

– выявлены закономерности изменения водоудерживающей способности, структурной вязкости, прочности сдвигу, адгезионной прочности, жизнеспособности, удобоукладываемости ремонтной модифицированной смеси в зависимости от вида и расхода вяжущего, полимерной составляющей, водоцементного отношения и

тонкомолотых виброактивированных вяжущих и полимерных компонентов; содержания барханного песка в составе заполнителя;

– предложены принципы получения ремонтного модифицированного состава с комплексным использованием вяжущей системы "портландцемент – барханный песок – двуводный гипс – С-3" и полимерных компонентов, позволяющие регулировать процесс твердения, усадочные деформации, повышать адгезию, улучшать структурные характеристики, что в результате повышает физико-механические и эксплуатационные свойства предлагаемых композитов;

– выявлены зависимости физико-механических, деформативных и эксплуатационных свойств комплексных ремонтных модифицированных составов от гранулометрического состава и пустотности заполнителя, вида и расхода вяжущего, варьирования компонентов вяжущего.

**Теоретическая значимость работы обоснована тем, что:**



– изучено влияние механохимической и вибромеханохимической активаций наполненных систем "портландцемент – барханный песок – С-3" на свойства комплексных вяжущих для получения ремонтных модифицированных составов;

– предложены принципы оптимизации технологических, реологических, физико-механических и эксплуатационных свойств ремонтных модифицированных составов путем комплексного использования

– исследованы закономерности повышения эффективности получения модифицированных ремонтных составов за счет активации наполненных систем "портландцемент – барханный песок – С-3" в шаровой вибромельнице и использования полимерных составляющих;

– основываясь на ранее известных теоретических положениях структурообразования портландцемента развита теория гидратации и твердения тонкомолотого виброактивированного вяжущего на основе тонкодисперсного барханного песка и ПАВ;

Теоретические выводы, сделанные в результате научного исследования, могут быть использованы в следующих учебных курсах: «Технология вяжущих веществ», «Технология бетона и железобетонных изделий и конструкций», «Строительные материалы и изделия», «Ресурсо- и энергосбережение в строительном материаловедении» и др.

#### **Практическая значимость диссертационного исследования:**

– предложена возможность экономии клинкерной доли цемента за счет использования дисперсного виброактивированного барханного песка в качестве составляющего тонкомолотого вяжущего;

– разработаны рецептуры тонкомолотых вяжущих с расширяющим эффектом на основе комплексного использования виброактивированных минеральных и полимерных компонентов, способствующие улучшению структуры и свойств ремонтных модифицированных составов;

– разработаны рецептуры ремонтных модифицированных составов на барханных песках;

– применительно к проблематике диссертации эффективно использованы методы математического планирования эксперимента со статистической обработкой результатов и стандартные методы испытания;

– разработан технологический регламент на производство виброактивированных тонкомолотых вяжущих с использованием барханного песка и суперпластификатора С-3;

– разработаны технические условия на производство модифицированных ремонтных составов с комплексным использованием виброактивированных тонкомолотых вяжущих и полимерных добавок.

**Внедрение результатов работы.** Результаты проведенных исследований по получению модифицированных ремонтных составов на основе виброактивированных тонкомолотых вяжущих с использованием тонкодисперсного барханного песка и суперпластификатора С-3 внедрены при ремонте бетонных и железобетонных конструкций при строительстве жилого комплекса «Солнечный» в г. Грозный по улице Старопромысловское шоссе, 24. Экономический эффект от внедрения предлагаемых ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов составил 5,8 тыс. рублей в год с 1 м<sup>2</sup> поверхности конструкций.

Разработаны нормативно - технические документы:

– технологический регламент на производство виброактивированных тонкомолотых вяжущих с использованием барханного песка и суперпластификатора С-3;

– технические условия на производство ремонтных модифицированных составов с использованием виброактивированных тонкомолотых вяжущих на барханном песке и суперпластификаторе С-3.

Теоретические аспекты и результаты экспериментальных разработок, полученных при выполнении диссертационного исследования, используются в учебном процессе при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов, обучающихся по направлению «Строительство».

**Методология и методы исследования** основываются на установленных положениях теории твердения ремонтных модифицированных составов с комплексным использованием виброактивированных минеральных и полимерных компонентов, и, в частности, наполненной системы "портландцемент – барханный песок – С-3", а также математической логики, и технологии композиционных материалов. Исследования проводились с учетом действующих государственных стандартов и рекомендаций.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- – результаты исследований состава и свойств барханных песков и компонентов сырьевой смеси;
- анализ результатов подбора рецептур, активированных тонкомолотыми вяжущими на основе барханных песков;
- свойства и процессы структурообразования цементного камня бетонных композитов, полученных на виброактивированных тонкомолотых вяжущих с использованием тонкодисперсного барханного песка и ПАВ;
- теоретические положения получения ремонтного модифицированного состава с комплексным использованием вяжущей системы "портландцемент – барханный песок – двуводный гипс – С-3" и полимерных составляющих, позволяющие повысить физико-механические и эксплуатационные свойства предлагаемых композитов;
- зависимости физико-механических, деформативных и эксплуатационных свойств ремонтных составов от гранулометрического состава и пустотности заполнителя, вида и расхода вяжущего и варьирования компонентов вяжущего.
- результаты апробации.

**Достоверность полученных результатов подтверждается:**

- использованием апробированных методов экспериментального исследования, поверенного оборудования;

– использованием современного программного обеспечения при обработке экспериментальных данных, а также испытанием необходимого количества контрольных образцов.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

- Международной научной конференции «Наука и образование в современной России», г. Москва, 16-18 ноября 2015 г.
- Международной научно-практической конференции «Наука XXI века: открытия, инновации, технологии», г. Смоленск, 30 апреля 2016 г.
- Международной конференции «Актуальные вопросы развития современного общества», г. Пермь, 15 мая 2016 г.
- VII Республиканском конкурсе молодежных проектов и программа "Научно-техническое творчество молодежи Чеченской Республики - 2016" г. Грозный, 2016 г.
- Международной конференции «Современные концепции развития науки», г. Екатеринбург, 18 сентября 2015 г.
- Международной конференции «Наука сегодня: проблемы и пути решения», г. Вологда, 30 марта 2016 г.
- Международной научно-практической конференции «Наукоемкие технологии и инновации», Белгород, 2019.
- II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «МИЛЛИОНЩИКОВ-2019», посвященной 100-летию ГГНТУ, 30-31 мая 2019 года, г. Грозный.
- VIII Международном научном форуме молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников «Потенциал интеллектуально одарённой молодежи – развитию науки и образования», 23–25 апреля 2019 г. Астрахань.

**Публикации.** По результатам исследований опубликованы 19 научных статей, в том числе 4 в рецензируемых изданиях ВАК РФ и 1 патент на изобретение.

**Личный вклад соискателя.** Заключается в планировании и реализации экспериментальных исследований, обработке и интерпретации полученных данных, внедрении результатов исследования. Основные научные результаты получены соискателем лично. Отдельные вопросы теоретических и экспериментальных исследований и внедрение результатов выполнены в соавторстве.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов, заключения, списка литературы из 174 наименований и 5 приложений. Основная часть изложена на 190 страницах машинописного текста, содержит 61 рисунок, 37 таблиц.

Представленные результаты получены в рамках исследований по реализации научного проекта № 05. 607.21.0320, получившего поддержку Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 годы». Уникальный идентификатор соглашения RFMTFI60719X0320

## **ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ**

### **1.1 Особенности ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона и возможные пути повышения их свойств**

Основным ремонтным составом для восстановления железобетонных конструкций в большинстве случаев является мелкозернистый бетон [1, 2, 20, 34, 39]. Это объясняется, конечно, в первую очередь, необходимостью качественного заполнения ремонтным составом небольших объемов – дефектов конструкций (трещин, сколов, выбоин и др.). Мелкозернистая структура и свойства материала способствуют достижению следующих достоинств:

- перспектива формирования однородной дисперсной высококачественной структуры, в которой не наблюдается присутствия крупных включений иного строения;
- возможность эффективной модификации композита добавками химического и минерального происхождения;
- обладает высокотиксотропными свойствами и способностью к трансформации бетонной смеси;
- обладает высокотехнологичными свойствами, дающими возможность формировать конструкции и изделия различными методами: литьем, экструзией, прессованием, штампованием, набрызгом и другими;
- возможность беспроблемной транспортируемости, в том числе и по трубопроводам;
- перспектива получения композитов с различными комплексами свойств;
- использование новых архитектурно-конструкционных решений;

- возможность использования местных сырьевых ресурсов, что позволит получать композиты по более низкой себестоимости по сравнению с традиционным крупнозернистым бетоном.

К тому же, мелкий заполнитель различного происхождения распространён повсеместно по всей России, и в частности, в Северо-Кавказском регионе, а многочисленные исследования [2, 17, 18, 20, 22, 148] подтверждают, что мелкозернистые бетоны по своим физико-механическим и эксплуатационным показателям не уступают классическому бетону, а с экономической стороны даже превосходят последний.

Свойства мелкозернистых бетонов, конечно же, зависят от тех же факторов, что и традиционного тяжелого бетона. Однако этот вид бетона отличается и некоторыми особенностями, которые обусловлены его структурой. Структура данного композита обладает характерной однородностью и мелкозернистостью, отсутствие прочного каменного каркаса способствует увеличению содержания цементного камня, а значит, повышается поровое пространство и удельная поверхность твёрдой фазы. Эти качества, как положительные, так и отрицательные, мелкозернистых бетонов сказываются при использовании их для ремонта железобетонных конструкций и изделий.

В работе [15], показано, что прочностные характеристики пористых композитов можно определить произведением количества контактов на единицу поверхности и средней прочности индивидуального контакта. Переход к мелкозернистым бетонам способствует уменьшению размеров частиц и уплотнению их упаковки, но в итоге повышается количество контактов. В результате все это в комплексе усиливает и суммарную силу контактного сцепления на границе «цементный камень – заполнитель», именно она выполняет основные функции в восприятии растягивающих напряжений [19, 24, 25, 40, 42, 50, 62, 65, 128 и др.]. Следовательно, согласно структурной теории прочности, структуры и деформации бетона [67], это должно положительно сказываться на свойствах мелкозернистого бетона.

В работах [1, 2, 24, 32, 103, 107] было установлено, что именно мелкозернистые бетоны хорошо сопротивляются растягивающим нагрузкам. Отношение  $K_{изг} / K_{сж}$  у исследуемых бетонов составляет 0,15 – 0,25, а у тяжелого бетона 0,10 – 0,15 [58]. Авторы указанных работ это объясняют высокой однородностью структуры мелкозернистых бетонов.

Известно также, что мелкозернистые бетоны более деформативны, чем тяжёлые бетоны, имеющие крупный заполнитель. По данным [78, 79, 81 и др.] предельные деформации при разрушении мелкозернистых бетонов незначительны, но выше аналогичных деформаций тяжелого бетона. Модуль упругости мелкозернистого бетона на 30 – 50 % меньше, чем у равнопрочных традиционных бетонов. Конечно же, на это сказывается отсутствие в исследуемых бетонах каменного прочного остова, а цементный камень, заменяющий этот каркас отличается повышенной деформативностью, которая на 20 – 30 % больше, по сравнению с тяжелым бетоном [21, 26, 29, 44, 105, 106, 132, 133 и др.]. В работах [51, 61, 76, 98] мы наблюдаем более высокую динамическую прочность и выносливость мелкозернистых бетонов, чем у тяжелых бетонов, объяснению этому служит повышенная деформативность и структурная однородность их, что весьма важно для ремонтных составов.

Отсутствие крупного заполнителя способствует значительному увеличению удельной поверхности мелкого заполнителя и его пустотности, а для получения равноподвижной бетонной смеси в сравнении с тяжелым бетоном, необходимо поднять расход воды и цемента на 15 – 25 % [33, 37, 75, 82]. В результате это увеличивает усадочные деформации и способствует возникновению внутренних напряжений, образующихся в период твердения бетона [88, 89 и др.]. Необходимо к тому же отметить, что увеличение расхода воды приводит к повышению капиллярной пористости композита, а это негативно отражается на эксплуатационных характеристиках [83, 85, 109, 130, 144].



В работе [135] ликвидировать этот отмеченный отрицательный момент удалось, используя в процессе приготовления и формирования мелкозернистой бетонной смеси воздух вовлекаемый из вне в объеме 3 – 8 %, который равномерно распределялся в виде мельчайших пузырьков по всему объёму смеси. Установлено, что воздухововлечение увеличивает капиллярную пористость бетона и незначительно, но снижает его прочность. Однако, в работах [99, 118, 129], отмечается, что повышенная пористость композита носит условно-замкнутый характер, что положительно отражается на его морозостойкости.

Таким образом, повысить характеристики мелкозернистых бетонов, применяемых в целях ремонта железобетонных конструкций и изделий возможно, используя многокомпонентные вяжущие, добавки различного происхождения, заполнители с необходимой гранулометрией и особые способы укладки и условия твердения [28, 35, 46, 50 и др.].

В настоящее время широко применяют модифицирование бетонной смеси химическими добавками, которые в большинстве случаев являются комплексными, и носят двойной эффект пластифицирующий и воздухововлекающий [21, 23, 27, 84, 108 и др.].

Пластифицированные бетонные смеси уже давно применяются в строительстве, еще начиная в середины прошлого столетия, и на сегодняшнее время это наиболее эффективный способ в технологии бетона. Наиболее распространенным пластифицирующим компонентом можно считать поверхностно-активные вещества (ПАВ), их получают в основном из вторичных продуктов и отходов химической промышленности. Согласно многочисленным исследованиям ПАВ можно разделить на две группы:

- гидрофильные добавки, влияющие на процесс диспергирования коллоидной системы цементного теста и тем самым, повышают его реотехнологические свойства;

- гидрофобные добавки, способствуют мельчайшему воздухововлечению в бетонную смесь, и адсорбируясь на границе раздела

«воздух-вода», снижают поверхностное натяжение жидкой фазы и стабилизируют очень небольшие объемы воздуха в цементном тесте; добавки этой группы, регулируют структуру и повышают стойкость бетона, обладая при этом существенным пластифицирующим эффектом.

Для улучшения эксплуатационных свойств бетонов широко применяются воздухововлекающие добавки, гидрофобизируя поровое пространство бетона, они подготавливают воздушные капсулы в качестве резервного варианта для замерзания воды в зимний период, без образования больших внутренних напряжений [30, 74, 95, 108, 134], результат существенный прирост показателей по водонепроницаемости и морозостойкости бетона. В работах исследователей [53, 60, 69, 162 и др.] показано, что эти ПАВ отрицательно влияют на прочность бетона, понижая ее (1% воздухововлечения понижает прочностные свойства бетона на 3%). Выявлено, что в большом количестве эти добавки в бетонную смесь не рекомендуется применять, оптимальное допустимое содержание вовлеченного воздуха примерно 4 – 5 %, именно в этом случае не наблюдается спада прочности бетона, за счет нейтрализации отрицательного эффекта воздухововлечения вследствие уменьшения водоцементного отношения и пластифицирования бетонной смеси.

Модифицирование бетонов различными полимерами в настоящее время применяют все чаще [43, 54, 97, 98, 100, 136, 151, 153, 156, 160], и многие авторы отмечают, что это дает возможность управлять структурой и свойствами бетона, к тому же улучшаются технико-экономические характеристики композита.

Если в классических бетонах мы используем полимерные добавки, вводимые в минимальных дозировках, и эти добавки не влияют на механизм твердения и процессы структурообразования, то в полимерцементных бетонах полимерный компонент занимает существенную долю и играет роль вяжущего в дополнение к минеральным вяжущим веществам. По мнению многих исследователей [136, 150, 156 и др.] комплексное использование этих

разных по свойствам материалов образуют высокоэффективные композиты со сложной органоминеральной структурой и характерными свойствами как у цементов, так и у полимеров. Варьируя химией полимерных добавок и их дозировкой можно получать смеси с высокими технологическими показателями и прогнозировать конечные результаты материала.

Область применения полимерных материалов велика, их можно использовать при небольших дозировках до 5 % в качестве добавки, увеличивая дозировку до 20 % в качестве дополнительного связующего, как пропиточный материал, в виде полимерных волокон для дисперсного армирования.

Полимерные составляющие, покрывая поверхность всех компонентов цементного камня, не исключая поры и капилляры, тонкой пленкой, повышают адгезионную прочность в зоне контакта заполнителя и цементного камня. В результате образуется довольно прочные, непроницаемые и морозостойкие композиты. Первые полимеры, использованные в качестве добавок, были латекс, поливинилацетат и водорастворимые смолы.

Но широкое распространение полимерные смолы получили с производством сухих строительных смесей (ССС). Полимерные связующие в составе СССР были в виде сухих смесей синтетических дисперсий, на основе сополимеров этилена, акрилатов и винилацетата. При этом СССР характеризуются пластичностью во время нанесения, повышенным сцеплением со старыми поверхностями, более стойкие к истиранию, прочностные показатели также более высокие.

Так же необходимо отметить, многие полимерные связующие являются загустителями, что позволяет получать смеси определенной консистенции, с отсутствием процессов расслоения и седиментации, улучшается адгезионная прочность, повышается стабильность по отношению к температурным перепадам.

Особенно хорошо себя показали ремонтные составы, модифицированные акриловыми сополимерами [83, 98, 100], эти бетоны выделяются высокой прочностью и морозостойкостью, позволяют повысить долговечность железобетонных элементов. Полиакриловая дисперсия от финских производителей хорошо зарекомендовала себя для модификации ремонтных составов повышенных эксплуатационных свойств. По данным [83] размеры частиц полиакриловой дисперсии находясь в пределах 600 – 5000 Å, образуют при гидратационных процессах портландцемента полимерные фазы, распределяющиеся в порах и капиллярах цементного камня. При этом существует возможность химического взаимодействия полимерных агрегатов с продуктами гидратации портландцемента, с образованием комплексной цементно-полимерной структуры, определяющей свойства полимерцементных бетонов.

Единственный недостаток акриловых сополимеров импортного производства – это высокая стоимость, повышающая в результате затраты на ремонт бетонных и железобетонных конструкций. Решить эту проблему возможно используя акриловые дисперсии российских производителей, такие как «МБМ-5С», «АКРЭМОС 101», «АКРЭМОС 502».

Есть еще способ снизить затраты на ремонт железобетонных конструкций – увеличение доли песка в составе бетона, но это приведет к снижению технологических свойств бетонной смеси. Тогда в этом случае чаще всего используют пластифицирующие добавки, но это приводит к существенному снижению скорости твердения системы, за счет препятствия формированию полимерной фазы в цементном камне.

Следует отметить, для протекания реакций полимеризации и поликонденсации необходима температура до 160°C, что невозможно на практике, поэтому при применении акриловых дисперсий нужно использовать отвердители-катализаторы полимерной фазы. Проведенные исследования [97] показали, что данными качествами обладает кремнийорганическая жидкость метилсиликонат натрия ГКЖ-11, получаемая

гидролизом соответствующих алкилтрихлорсиланов, с дальнейшим растворением в водном или водно-спиртовом растворе едкого натра. Комплексное использование ГКЖ-11 и акрилового сополимера повышает скорость твердения ремонтных составов и их технологические свойства.

Использование высокомолекулярных соединений для улучшения свойств бетонов и растворов было применено еще многие века назад, так как известны многие памятники Северного Кавказа при сооружении которых использовались кладочные растворы с добавкой природных высокополимеров — белковых веществ.

Использование латексов, поливинилацетата и эмульсий для создания полимерцементных композитов основано на таких качествах как адгезия и аутогезия. Аутогезия это способность отдельных глобул твердой фазы полимера при его разрушении к самослипанию, т.е. к плёнкообразованию [100, 108, 111, 151]. Это свойство особенно важно, так как чем выше клеящая способность полимерного компонента, тем качественнее и надежнее обеспечивается соединение клинкерных новообразований и частиц заполнителя. Установлено [90, 98, 100], что именно поливинилацетат является носителем высоких адгезионных свойств, благодаря своей полярной структуре.

На конечный результат полимерцементных бетонов во многом влияет режим твердения, он кардинально отличается от процесса твердения традиционных бетонов, и воздушно-сухие условия с минимальной влажностью способствуют приросту прочностных показателей и других свойств [31, 98, 100 и др.].

В работе [97] отмечается высокая морозостойкость бетонов с полимерной составляющей, автор это объясняет тем, что полимер придает композиту внутреннюю деформативность, за счет образования эластичных полимерных мембран между клинкерными кристаллогидратами и заполнителем, к тому же поровое пространство пропитано полимером и

способно воспринимать напряжения, возникающие при замерзании в них жидкости.

Формирование структуры и прочности мелкозернистого бетона определяется модулем крупности и гранулометрией применяемого мелкого заполнителя [3, 12, 13, 14]. В работах [16, 18, 19, 22, 120, 121] предлагается фракционировать мелкий песок.

Авторами [19] установлено, что при минимальном расходе портландцемента возможно получить мелкозернистый бетон с удовлетворительными характеристиками путем подбора гранулометрического состава заполнителя, и это удастся за счет снижения пустотности песка, уменьшения водопотребности бетонной смеси и объема воздухововлечения. Как отмечает [22] прерывистая гранулометрия песка позволяет получить мелкозернистые бетоны класса В 15-20 с показателями призмной прочности, ползучести, усадки примерно, как у тяжёлых бетонов с крупным заполнителем.

Необходимо отметить, что такие факторы как различные примеси и зерновой состав фракций песка влияют на прочность мелкозернистого бетона. В работах [17, 51, 101, 120] установлено, что применение мытых и фракционированных песков обеспечивает хорошую прочность композита.

Работа [102] показала, что активация цемента с мелкими песками с модулем крупности 1,2-1,8 и виброперемешивание бетонной смеси способствует увеличению прочностных показателей без перерасхода цемента.

Установлено [45], что активация портландцемента с использованием высокопроизводительных измельчителей дает существенный, более чем на 60 %, прирост прочности на растворах с применением барханных песков. Авторы утверждают, что домолотый цемент должен иметь общую удельную поверхность не более 600 м<sup>2</sup>/кг, в противном случае это повлечет за собой увеличение водопотребности вяжущего, да к тому же снижается производительность мелющих агрегатов.

Увеличение удельной поверхности портландцемента в полной мере реализуется при тепловлажностной обработке. В этом случае прочность пропаренного бетона выше, чем на традиционном цементе. По данным [20] мы наблюдаем увеличение прочности на растворных и бетонных образцах на цементе с удельной поверхностью  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$  и это после трехчасового воздействия тепловлажностной обработки.

Работы [3, 7, 12, 13, 16, 21, 22] посвящены изучению характеристик молотых барханных песков, в которых отмечается повышение реакционной способности молотой смеси песка, и наблюдается изменение ее гранулометрического состава. Было установлено [16] характер измельчения барханных песков зависит не от способа помола, а от петрографического состава песка. Минералы барханного песка, отличающиеся меньшей твердостью: полевые шпаты и кальцит быстрее диспергируются независимо от способа измельчения: либо мокрый, либо сухой. До получения удельной поверхности  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$  содержание измельченных частиц кварца минимально, в смеси преобладают такие минералы как кальцит и полевые шпаты, которые и будут активной составляющей песка. Но при дальнейшем измельчении до удельной поверхности  $450 \text{ м}^2/\text{кг}$  и выше наблюдается увеличение размалываемости кварцевых частиц. Отмечается, что присутствие полевошпатных и карбонатных составляющих в минералах барханного песка снижают прочностные свойства и морозостойкость композита, при этом повышается водопотребность бетонной смеси и деформативные показатели бетона.

Отличительной особенностью барханных песков является высокая общая удельная поверхность и низкий модуль крупности. Пески очень мелкие, в основном, и широко их применяют в технологии ячеистых бетонов. Имеется большой производственный опыт выпуска газосиликатных и силикатных бетонов из пылевидных барханных песков.

В работе [21] подробно описываются технологические мероприятия по получению качественного газобетона. Неавтоклавные условия являются

более благоприятными для структурообразования цементного камня, так как отсутствует принудительное интенсивное "старение" продуктов гидратации цемента, меньше образуется микродефектов, тем более, что и экономическая сторона выигрывает; неавтоклавный ячеистый бетон почти на 80% экономичнее керамзитобетона.

Авторы [3, 11] рассматривают ремонтные мелкозернистые и газобетоны неавтоклавные на основе барханных песков, отмечают, что данные композиты существенно отличаются от традиционных бетонов на кварцевых песках, отвечающих требованиям стандартов. Композиты представляют собой сложную взаимосвязанную систему, состоящую из обводненных мелких твердых частиц, жидкой и газовой фаз, характеризующееся высокой вязкостью, предельным напряжением сдвига и коэффициентом внутреннего трения. Для создания нового мелкозернистого и ячеистого газобетона целесообразней, и технологически, и экономически использование наполненных систем тонкодисперсными добавками. Рекомендуется частичное измельчение барханного песка совместно с портландцементом до удельной поверхности вяжущего  $300 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Это дает нам направленное улучшение гранулометрии системы, да еще насыщение пуццолановыми добавками, так как мягкие минералы песка (кальцит, глинистые минералы и полевые шпаты) при такой удельной поверхности приобретают реакционную способность, а кварц остается в своем состоянии. Добавка негашёной молотой извести в количестве  $40\text{-}60 \text{ кг}/\text{м}^3$  в замен портландцемента дает не только экономию, но и уменьшает показатели капиллярной пористости бетона, увеличивая при этом объем мелких пор, что сопровождается повышением прочности и трещиностойкости и снижением усадочных деформаций бетона [15].

Для создания мелкозернистых ремонтных бетонов с использованием мелких барханных песков была разработана [21] многофункциональная добавка в состав которой входили арилалкендиеновая смола, 1%-раствор салициловой кислоты и полиаминофеланометилфенолат натрия и вода.



Данная добавка позволяла улучшить процесс приготовления бетонной смеси, пластифицируя ее, интенсифицировала степень гидратации клинкерных минералов, а в период тепловлажностной обработки кольматировала поровое пространство бетона, тем самым повышая водонепроницаемость композита. Но необходимо отметить, что перемешивание бетонной смеси с использованием барханных мелких песков требует более тщательного вымешивания из-за высокой плотности смеси и в качестве смесительного оборудования рекомендуется применять бегуны. Качественное вымешивание бетонной смеси позволяет экономить расход цемента. Это приводит к снижению расхода цемента, так как повышается плотность смеси.

## **1.2 Основные виды дефектов бетона и причины их образования**

Визуальный осмотр зданий и сооружений необходим для того, чтобы оценить состояние бетонной и железобетонной конструкции, и реализовать обследование согласно требованиям по действующим нормативным документам и регламентам.

Конечно же, наиболее явными и существенными являются дефекты бетонных и железобетонных конструкций в виде трещин. По признаку появления трещины можно отметить, что образование их связано с напряжением, возникающим в конструктивном элементе в процессе производства, транспортировки и монтажа, а также вызваны нагрузками, в результате эксплуатации и воздействию окружающей среды.

Трещины, появившиеся в период до эксплуатации, являются: усадочные, образовавшиеся из-за неправильного твердения бетона конструкции; когда присутствуют резкие температурные перепады в отдельных участках конструкции и напряжения; трещины технологического характера, появляющиеся в конструкции при изготовлении; трещины, возникающие из-за неправильного складирования, транспортировки и

монтажа. Дефекты этой группы занимают самый большой объем и составляют около 60 %.

Трещины, возникающие во время эксплуатации, имеют следующую природу: появляющиеся в результате температурных колебаний (температурные и деформационные швы устроены неправильно или вообще отсутствуют); образующиеся из-за неравномерной осадки грунтового основания, аварийного замачивания грунтов, проведения земляных работ в недопустимом расстоянии к фундаментам, динамических воздействий, вызванных заделыванием свай и уплотнением грунтов, близкого расположения автомагистралей и т.п.; вызванные силовыми воздействиями, значительно превышающими значения по расчету.

В большинстве случаев при обследовании железобетонных конструкций трещины можно обнаружить в изгибаемых элементах, которые работают по балочной схеме (балка, прогон): появляются перпендикулярно продольной оси, в зоне возникновения растягивающих напряжений и действия больших изгибающих моментов; образуются наклонно к продольной оси, в зоне растягивающих напряжений и действия значительных перерезывающих сил и изгибаемых моментов (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Характерные трещины в изгибаемых железобетонных элементах, работающих по балочной схеме.

Образующиеся дефекты в бетонных и железобетонных элементах, способствуют созданию условий непригодности, так как теряются несущая способность и эксплуатационные качества. К примеру, прогибы, образующиеся в результате растягивающих напряжений, превышающие предельные величины, препятствуют нормальной эксплуатации конструкций, а уменьшение несущей способности приводит, в итоге, к аварийному состоянию. Трещины, возникшие в изгибаемом элементе растянутой зоны, перпендикулярно к продольной оси с шириной раскрытия более 0,4 мм указывают на превышение требований по II группе предельного состояния и свидетельствуют о вероятности достижения предельной точки текучести стальной арматуры, что связано с потерей несущей способности железобетонной конструкции.

Перпендикулярные трещины максимально раскрываются в крайних растянутых участках сечения конструкции, наклонные же, в отличие от нормальных, раскрываются в средней зоне боковых граней конструкции, где возникают максимальные касательные напряжения, но затем трещины распространяются на участки растянутой грани.

Обнаружение трещин в опорных зонах плит поперечно рабочему пролету характеризует недостаточную несущую способность по изгибающему моменту. Нижней поверхности плит с различием в соотношении сторон (рисунок 1.2) свойственно развитие трещин силового действия, при этом дефектов в сжатой зоне бетона не наблюдается. Если же присутствует смятие бетона в сжатой зоне, возможна вероятность полного разрушения плиты.

Вертикальные и горизонтальные трещины могут возникнуть на гранях колонн. Вертикальные могут образоваться в месте изгиба арматурных стержней, особенно в тех зонах, где редко расположены хомуты. Присутствие небольших горизонтальных трещин не вызывает сильной

опасности, но если учитывать, что через них открывается доступ влажного воздуха и агрессивных реагентов в арматуру, будет прогрессировать коррозия металла. Продольные трещины в колоннах, возникающие вдоль арматурных стержней, характеризуют о разрушении, связанном с потерей устойчивости продольных сжатых стержней арматуры, вследствие недостающего количества поперечных арматурных стержней.

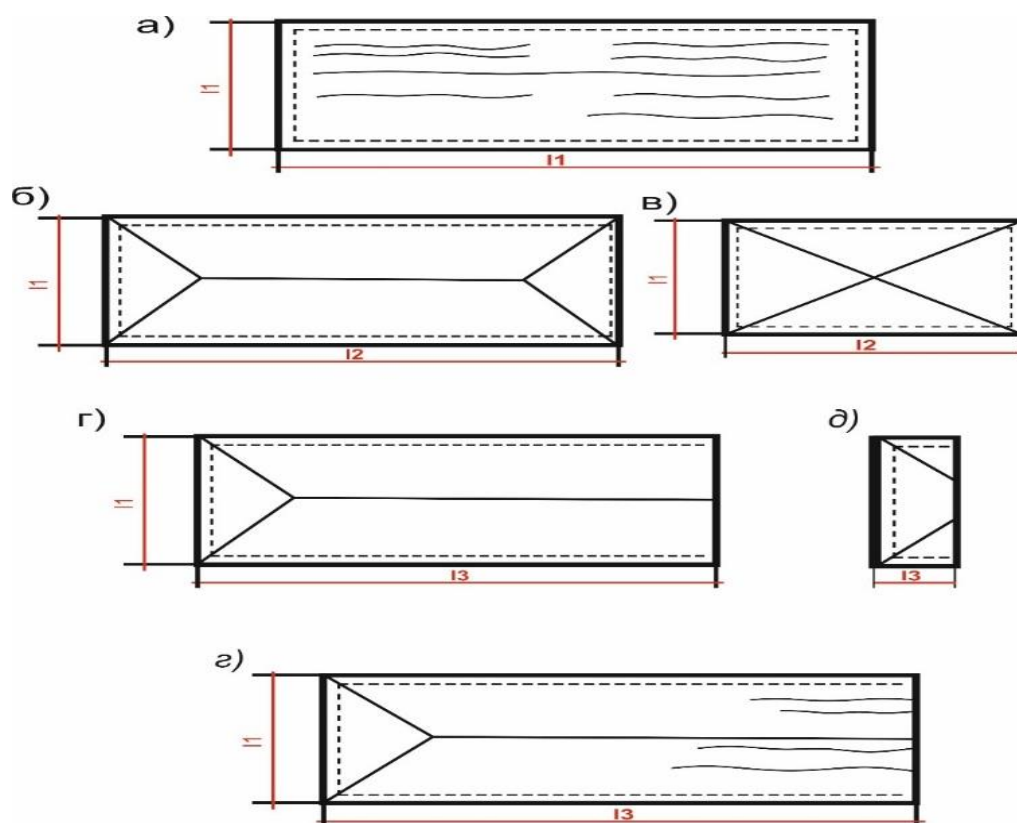


Рисунок 1.2 – Характерные трещины на нижней поверхности плит:

а – работающих по балочной схеме при  $l_2/l_1 = 3$ ;

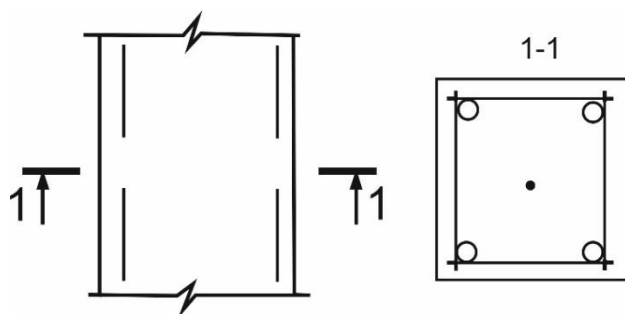
б – опертых по контуру при  $l_2/l_1 < 3$ ; в — тоже при  $l_2/l_1 = 1$ ;

г – опертых по трем сторонам при  $l_3/l_1 = 1,5$ ;

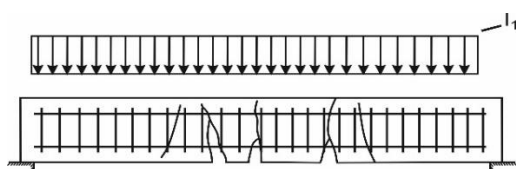
д – то же, при  $l_2/l_1 > 1,5$

Поперечные трещины, возникающие в изгибаемых элементах, практически перпендикулярно продольной оси конструкции, проходят через все сечение (рисунок 1.3). Трещины, появившиеся на опорных участках и гранях железобетонных элементов и расположенные вдоль арматурных

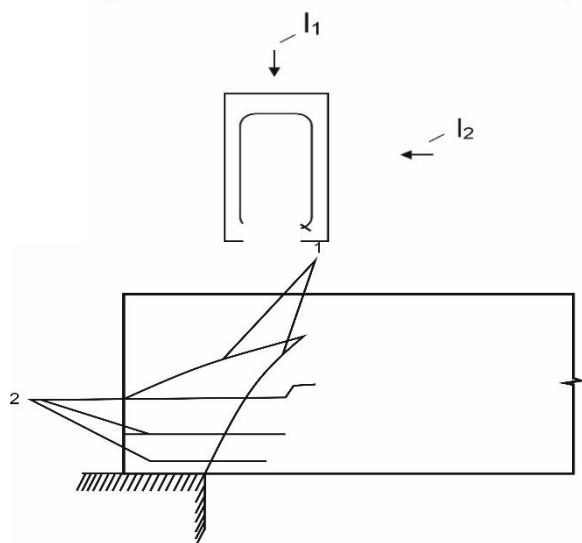
стержней, свидетельствуют о нарушении анкеровки стержней, наклонные трещины в приопорных участках так же указывают на это – они пересекают участки распределения предварительно напряженной стальной арматуры и переходят на нижнюю грань конца опоры.



Трещины вдоль продольной арматуры в сжатых элементах



Трещины по всей высоте сечений элементов, изгибаемых в двух плоскостях



Трещины в опорной части предварительно напряженного элемента

1 — при нарушении анкеровки напряженной арматуры;  
2 — при недостаточности косвенного армирования сечения на действие усилия обжатия

Рисунок 1.3 – Поперечные трещины в изгибаемых элементах:

Развивающиеся трещины и крошение бетона вдоль арматурных стержней железобетонных конструкций могут быть результатом коррозии

металла. В данном случае наблюдается нарушение адгезии между арматурой и бетоном, этот факт легко установить, простукивая поверхность бетона.

Железобетонные элементы, находясь в постоянном контакте с окружающей средой, подвергаются разрушающим коррозионным процессам (рисунок 1.4). Авторы [77, 78, 79] отмечают несколько видов коррозии: химическая, электрохимическая и механическая.

Химическая коррозия газовая и жидкая обусловлена химическим взаимодействием компонентов конструкции и внешней среды, без присутствия электрического тока и электролитов.

Электрохимическая коррозия сопровождается окислительно-восстановительными процессами в стальной арматуре и протекает в водных растворах электролитов, в расплавленных солях и щелочах, во влажных газах.



Рисунок 1.4 – Виды разрушения железобетонных элементов

Механическая коррозия наблюдается в цементной матрице и в заполнителе и сопровождается внутренними напряжениями внутри бетона, превышающими предел прочности на растяжение. Причиной появления механической коррозии является кристаллизация солей, отложение в поровом пространстве бетона продуктов коррозии, давление льда при замерзании воды в порах и капиллярах, а также различие коэффициентов линейно-температурного расширения.

Условия эксплуатации искусственного конгломерата влияют на долговечность, она будет достаточно высокой и не будет требовать особого ухода, если бетон весь срок эксплуатации проведет в нормальной температурно-влажностной среде без присутствия агрессивных факторов. Конечно же, такие условия эксплуатации предназначены для работы относительно небольшого класса конструкций, расположенных внутри жилых и общественных зданий.

Обследование прочностных и деформативных показателей бетонных и железобетонных конструкций при реконструкции зданий является ответственной задачей. Правильность результатов обследования дает возможность сохранить элементы здания, предотвратить аварийные ситуации, разобрать и оградить участки аварийных конструкций.

Большую опасность представляют дефекты, появившиеся при зимнем бетонировании монолитных конструкций. Из-за отрицательных температур, возникают неравномерности распределения температурных полей и дополнительные напряжения, которые приводят к образованию трещин, к нарушению структуры композита, уменьшению физико-механических показателей и снижению сцепления арматуры с бетоном.

Рассмотрим основные виды дефектов, трещин и различных повреждений (рисунок 1.5):

– возведение конструктивных элементов гражданских и транспортных сооружений, связано с качеством укладки и выдерживания бетона, и от этих операций зависит товарный вид конструкций, который должен удовлетворять

требованиям нормативных документов. Разрешение этих требований может состоять в ликвидации поверхностных дефектов, а бывают случаи, когда необходимо устранять более глубокие дефекты, на которые затрачиваются значительные затраты труда и материалов (а).

– выступы и неровности на поверхности бетона появляются вследствие некачественной опалубки и неправильности ее установки (б).

– наплывы из бетона на поверхности появляются из-за слабой герметичности опалубки.

– раковины на поверхности возникают вследствие недостатка растворной части, накопления воды и воздуха в зоне контакта с опалубкой, некачественного уплотнения бетона (в).



а



б



в



г





д



е

Рисунок 1.5 – Основные виды повреждения, дефекты и трещины в конструкциях

- а) зоны с оголенной арматурной сталью;
- б) защитный слой бетона деформирован из-за расслоения бетонной смеси;
- в) щебенистая поверхность, полости, незаполненные поры, раковины из-за расслоения бетонной смеси;
- г) технологические разрывы из-за неплотной структуры бетона;
- д) зависания при быстром схватывании бетонной смеси;
- е) трещины усадки из-за неправильных условий твердения.

– большая щебенистость бетона является результатом седиментационных процессов в бетонной смеси, расслоения, довольно повышенной жесткости смеси, вытекания цементного молока и т.п. (г).

– полости в теле бетоне возникают в результате зависаний бетонной смеси на участках арматуры и опалубки, а также появляются в местах устройства технологических швов, при быстром схватывании свежеложенного бетона и плохой подготовке основания для укладки бетона (д).

– при нарушении температурно-влажностных условий твердения бетона возникают усадочные трещины (е).

В процессе возведения зданий в бетонных и железобетонных элементах образуются трещины различного характера:

- конструктивные;
- технологические;
- организационно-технологические.

При выполнении ремонтных работ необходимо отмечать, что в зонах заземления образуются сквозные технологические температурные трещины, а в наружных стенах, появляются трещины в рабочих швах.

Трещины конструктивного характера, возникают вследствие превышения предельных допустимых расстояний между температурно-деформационными швами, ремонту такие трещины подлежат в осенний или весенний месяц года.

Если трещины, появляющиеся в процессе строительства, не изменяют значений ширины раскрытия при действии на них нагрузок: температурных и строительных, то ремонтные работы можно вести с использованием традиционных компонентов по мере образования трещин в соответствии с возможностями и необходимостью строительной организации при температуре наружного воздуха не ниже +5°C.

Обследование эксплуатируемых конструкций транспортных сооружений позволило выделить дефекты, которые можно разделить на следующие группы по степени важности:

I группа повреждений, дефекты не существенные – практически не снижают прочностные показатели и долговечность элементов;

II группа повреждений, дефекты снижают долговечность элементов;

III группа повреждений, дефекты снижают несущую способность элементов.

Повреждения первой группы не требуют срочного принятия решений по ликвидации дефектов, их можно без больших затрат устранить, используя покрытия. Основное назначение ремонтных составов в данном случае – предотвратить развитие существующих мелких трещин.

При повреждениях второй группы ремонтные работы обеспечивают повышение долговечности зданий и сооружений, поэтому лечение дефектов

необходимо производить с использованием качественных и долговечных материалов. Обязательно нужно заделывать трещины в зонах распределения пучков предварительно напряженных стержней арматуры, трещины вдоль стержней арматуры.

При повреждениях третьей группы необходимо восстановить несущую способность конструктивного элемента по конкретному факту. Ремонтные составы и технология должны сохранить утраченные прочностные показатели и долговечность конструкции. Для устранения повреждений этой группы необходимо разработать индивидуальный проект.

В ходе эксплуатации мостов чаще всего повреждаются различные конструктивные элементы: опоры, ригели, пролетные строения, опорные части и т.д. Наиболее встречающиеся дефекты эксплуатируемых негабаритных опор и ригелей — это нарушение защитного слоя, оголение и корродирование стальной арматуры. У эксплуатируемых габаритных опор и ригелей наблюдается большее количество различных дефектов. Обследование путепроводов и пролетных строений мостов показало существенное повреждение участков защитного слоя граней балок, присутствие значительных трещин на нижней и боковой гранях балок, повреждение консолей (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Разрушение бетона конструкций пролетного строения моста

Дефектами и повреждениями, влияющими на эксплуатационную надёжность и долговечность конструкций, в результате чего повышаются расходы на ремонт зданий и сооружений, являются:

а) протекания влаги через участки кровли и стыковые соединения; проникновение в подвальные помещения грунтовых и талых вод; теплотехнические показатели ограждающей конструкции невысокие; повышенные тепло- и звукопроводность; зыбкость основания пола, лестничного марша и перекрытия; старение фасадной отделки зданий и сооружений;

б) переустройство конструктивных элементов зданий, не учитывая фактические нагрузки на данные конструкции, к ним относят пробивку свода, ограждающих стен, плит перекрытий, перемычек, вырезание тяжёлых; подкопка и выемка грунта из-под фундамента; увлажнение, подмывание и вымывание грунтов; увлажнение несущих конструктивных элементов при неисправностях системы отопления; протечки воды, связанные с отсутствием проведения профилактического ремонта кровли, отсутствие внутренних водостоков, швов, примыкания, трапов, соединения; нарушения фактуры стен, карнизов, и балконов, металлических остекленных фонарей, связей с систематическим попаданием в них талых и дождевых вод.

По степени влияния на качество отделочных работ, прочностные показатели, надёжность и устойчивость зданий и сооружений повреждения в зависимости от разрушения элементов бывают следующих видов:

а) неровности, каверны, поры, изъяны, раковины, пустоты, необработанные рабочие швы, сколы, трещины, рыхловатость структуры бетона и раствора, пористость, различие в цвете бетона, наплывы, нарушение линейно-угловой строгости и формы конструкций, оголение металла;

б) низкое качество и нарушения отделки поверхностей внутренних и внешних стен, плит перекрытий и полов;

в) деформации и повреждения конструкций;

- г) разрушения конструкций и отдельных частей зданий и сооружений;
- д) аварии зданий и сооружений;
- е) катастрофы и крушения сооружений.

### **1.3 Опыт применения барханного песка в строительстве**

Сложная геологическая история сказалась на формировании разнообразного рельефа поверхности Чеченской Республики. Здесь можно наблюдать самые разнообразные формы песчаного рельефа. Широко распространены заросшие травянистой растительностью грядовые и бугристые пески. А в северной и восточной частях массива встречаются участки сыпучих барханных песков, они занимают примерно 2 тыс. км<sup>2</sup>, и что составляет 50-60 % от сельскохозяйственных угодий. Образовались барханные пески вследствие развеивания грядовых песков [6, 7]. Барханные пески могли бы стать огромным сырьевым ресурсом в производстве строительных материалов, но применяются в основном в незначительных объемах в качестве заполнителей для бетонов.

В работах [4, 5, 6] приводятся результаты исследований по получению гидравлической извести из карбонатных минералов барханных песков, чтобы в дальнейшем производить автоклавный и безавтоклавный газобетон. В странах Средней Азии эффективное использование барханных песков для изготовления строительных изделий является важнейшей народно-хозяйственной задачей, так как это объясняется доступностью и неограниченностью сырьевой базы.

Авторы [3, 6] получили экономичные и долговечные бетоны без крупного заполнителя с использованием пылевидных, барханных песков и разработали принципиально новые подходы прогнозирования эксплуатационных свойств таких бетонов. Отмечается, что методика получения неавтоклавных мелкозернистых бетонов на основе барханных песков отличается по составу и структуре не только от тяжелых, но и от мелкозернистых бетонов на кварцевом традиционном песке.

Бетонная смесь, состоящая из портландцемента, воды и пылевидного барханного песка по своей структуре более похожа на цементную пасту, водонасыщенную глину, суглинки и др. В кристаллическом отвердевшем, структурированном состоянии ее только условно возможно назвать бетоном, это больше микробетон. По сути данные композиции представляют собой взаимосвязанную систему, которая состоит из обводненных твердых частиц (возможно флокул), жидкой и газовой фаз [5, 6].

Известно [3, 6], что для классических бетонов с крупным и мелким заполнителем наличие пылевидных фракций песка менее 0,1 мм не желательно. Дисперсные частички песка обволакивают более крупные зерна песка, прилипают к ним, образуя вокруг них пленки, и тем самым ослабляется сила сцепления зерен мелкого заполнителя с портландцементом. К тому же, образуемые пленки увеличивают пустотность песка, раздвигая зерна его.

В гранулометрическом составе барханных песков в основном преобладают частицы размером меньше 0,1 мм, модуль крупности меньше единицы, относя данные пески к разряду очень мелких песков [4]. Удельная поверхность барханных песков достигает примерно 21 – 32 м<sup>2</sup>/кг, для сравнения можно привести пример, удельная поверхность мелкого песка Червленского месторождения (ЧР) составляет удельную поверхность 8 м<sup>2</sup>/кг.

Петрографический состав барханных песков отличается от мелких кварцевых песков, установлено [4, 10], что суммарно они могут содержать до 50 % полевых шпатов, карбонатов и глинистых примесей.

Авторы [4] отмечают, что затвердевшие мелкозернистые композиции с использованием пылевидных барханных песков имеют высокую пористость примерно 20 – 24 %. Размеры пор достигают 1 – 1,5 мм в диаметре. Цементный камень из-за значительного водосодержания характеризуется развитой поровой системой. Расход портландцемента 350 – 400 кг/м<sup>3</sup> не дает возможность обеспечить достаточное склеивание зерен песка между собой,

получить плотную структуру возможно только при расходе цемента 600 – 650 кг/м<sup>3</sup>.

Известны предложения [8], позволяющие улучшить свойства мелкозернистого бетона, и, конечно, основной задачей здесь ставят снижение общей пористости цементного камня и размера капилляров и пор достижение которой возможно путем фракционирования составом всей системы, а не только барханного песка. Для этого необходимо активировать портландцемент и часть песка [12], или заменить часть барханного песка более крупным песком. Если первое возможно благодаря домалыванию портландцемента непосредственно на заводах ЖБИ, то второе требует доставки крупного песка. Конечно же, таким образом мы снова переходим к получению классических тяжелых бетонов.

В композитах с использованием барханных пылевидных песков без крупного заполнителя и стандартного песка целесообразно наполнять смеси тонкомолотыми компонентами, а не вводить в них крупные фракции [9].

Активация некоторой части полиминерального барханного песка дает возможность направлено изменять гранулометрический состав песка и своевременно наполнять смеси пуццоланическими активными составляющими. Особенно важна совместная активация портландцемента и барханного песка, в примерном соотношении 1:1 по массе, до удельной поверхности около 250 м<sup>2</sup>/кг, когда происходит интенсивное измельчение более мягких минералов (полевых шпатов, карбонатов и глинистых включений), а кварцевые зерна песка практически не размалываются. Ввод в композицию тонкомолотой цементно-песчаной смеси увеличивает плотность микробетона и включает в процесс твердения дополнительные резервы за счет химического взаимодействия гидроксида кальция и активных минералов пылевидного песка [13].

В строительной практике барханные пески используются сравнительно давно, однако, единой методики и критерия оценки их пригодности для композиционных материалов не выработано.

Выявлено, что барханные пески - ценное сырье и при правильном научно-техническом подходе на их основе можно будет создавать эффективные материалы и изделия для строительных нужд.

Применяемые в настоящее время методы, основанные, главным образом, на данных гранулометрического анализа, наиболее полно характеризуют пески нормальной крупности как заполнителя, но не полностью отражают специфические свойства мелкозернистых песков. Результаты анализов, полученные в разное время, одного и того же месторождения, еще раз доказывают о расхождении как по минералогическому так и по химическому составу по одним и тем же параметрам.

Для эффективного применения сырья, содержащего глину, в производстве известково-песчаных автоклавных материалов и ремонтных составов необходимы дальнейшие, более глубокие исследования влияния примесных минералов на процессы образования цементирующего вещества. В этой связи особый теоретический и практический интерес представляют сведения о динамике и механизме совместных химических превращений извести, барханного песка в присутствии дополнительно введенных минералов глины в гидротермальных условиях, а также закономерности активизации известково-барханных песков. На основании сведения о механизме образования цементирующего вещества в известковокварцевом материале на основе барханного песка, содержащего до 10% глинистых веществ, предложено восстановление их гидротермальной активности изменением условий взаимодействия компонентов так, чтобы исключалась возможность образования трудно растворимых пленок.

Одним из эффективных методов [9], позволяющих направленно изменять условия фазообразования в глинисто-силикатных смесях, является введение в их состав добавки гипса. Сущность метода состоит в том, что предварительно, до начала приготовления смеси, барханный песок в естественном состоянии смешивают с биологически активным компонентом



(например, илом сточных вод очистных сооружений, или отходами биологического производства, или сапропелем, или отходами пищевой, консервной, мясомолочной промышленности) и выдерживают под его воздействием в течение времени, необходимого для образования на гладкой, окатанной поверхности песчинок барханного песка неровностей глубиной не менее 5-10% среднего диаметра песчинки для того, чтобы обеспечить после затвердения строительной смеси активное сцепление (адгезию) связующего с наполнителем и работу конструкции в любых, в том числе, сложных напряженных состояниях [9].

Как известно, ил сточных вод представляет собой суспензию, образующуюся после отстоя канализационных стоков на станциях водоочистки городских очистных сооружений, либо после отстоя жидких отходов сельскохозяйственного производства, например, животноводческих ферм и птицефабрик. В качестве биологически активного компонента могут быть использованы также отходы биологического производства, например, при производстве пищевых биодобавок, а также озерный ил (сапропель). Такая суспензия, помимо органических компонентов (протеинов, углеводов, липидов, нуклеиновых кислот) и ряда неорганических соединений, содержит скопление большого количества микроорганизмов (бактерий, грибов), которые вместе с продуктами их жизнедеятельности образуют аморфный коллоид.

В качестве наполнителя, кроме барханного, может быть использован и дюнный песок, который характеризуется той же гладкой, окатанной, приближающейся к сферической, поверхностью. Эти пески содержат в своем составе, в основном, оксиды кремния, а также оксиды алюминия, железа и другие неорганические соединения [16, 18].

При перемешивании биологически активного компонента с барханным песком упомянутые микроорганизмы оседают на гладкой поверхности песчинок и разъедают ее, причем неравномерно, а с образованием на ней неровностей в виде отдельных углублений и канавок, изменяя форму

песчинок и создавая шероховатость их поверхности, то есть, увеличивая ее общую площадь. При этом между частицами песка возникают не только силы сцепления и внутреннего трения, но и зацепление выступов и впадин песчинок друг за друга. Одновременно, на поверхности частиц песка откладываются продукты жизнедеятельности бактерий, обладающие клеящими свойствами, что дополнительно увеличивает адгезию песка к вяжущему компоненту смеси. В конечном счете, все это и приводит к увеличению прочности изделий, изготовленных из такой смеси [22].

В работе [16] предлагается, отличный от модификации кварцевых наполнителей, способ термообработки, исключающий присутствие при этом солей металлов и других веществ. Термическая обработка барханных песков дает возможность отказаться от механоактивации песков.

Исследования [16] показали, что термоактивированный барханный песок способен после соединения с суперпластификатором и определенного выдерживания полученной смеси в нормальных условиях, позволил создать реакционный материал, который может затвердеть из-за наличия в указанном материале новообразований, обладающих гидравлическими свойствами и воздействующих на процесс полимеризации суперпластификатора, что позволит сократить содержание инициаторов реакции полимеризации.

Термоактивированный барханный наполнитель взаимодействует с полиэфирным связующим, и в результате насыщения химических сил, использования ультразвука, ликвидирующего избыточную энергию на поверхности термоактивированного наполнителя и улучшающего структуру полиэфирного связующего, уменьшения в результате механоактивации размеров частиц барханного наполнителя до оптимального, приводящее к улучшению смачиваемости частиц вяжущим и увеличению контактной поверхности; создания оптимальных условий для упорядочения, уменьшается межфазное натяжение в межчастичных контактных зонах, способствующее уменьшению загрязнений и дефектности в полиэфирном

композите, тем самым усиливается прочность и улучшается упорядоченность структуры.

В работе [18] разработаны составы мелкозернистых ремонтных составов на карбонатсодержащих барханных песках. Разработана технология изготовления изделий из мелкозернистого полиэфирного полимербетона на карбонатсодержащем термоактивированном барханном песке [12, 18].

Известково-песчаные автоклавные материалы, благодаря их высоким техническим и экономическим показателям, получили в строительстве широкое применение. Развитие производства этих материалов нуждается в расширении сырьевой базы за счет использования полиминеральных (барханных) песков, наряду с кварцем, содержащих карбонатные, полевошпатные и глинистые примеси. Наличие минералов глины в исходной силикатной смеси, как отмечается в работах большинства исследователей [12, 18] заметно сказывается на качестве продукции.

Для эффективного применения сырья, содержащего глину, в производстве известково-песчаных автоклавных материалов необходимы дальнейшие, более глубокие исследования влияния примесных минералов на процессы образования цементирующего вещества и свойства силикатного кирпича. В этой связи особый теоретический и практический интерес представляют сведения [18] о динамике и механизме совместных химических превращений известки, барханного песка в присутствии дополнительно введенных минералов глины в гидротермальных условиях, а также закономерности активизации известково-барханных песков. На основании сведений о механизме образования цементирующего вещества в известково-кварцевом материале с применением барханного песка, содержащего до 10% глинистых веществ, предложено восстановление их гидротермальной активности изменением условий взаимодействия компонентов так, чтобы исключалась возможность образования трудно растворимых пленок.

При отсутствии в песке глинистых компонентов и присутствии более 1% гипса при наличии большого количества гидросиликатов кальция,

прочность образцов при длительной обработке снижается. Использование барханных некондиционных песков возможно и в бесклинкерной технологии получения щелочных вяжущих [168-170], так как присутствие глинистых частичек, в силу своей алюмосиликатной природы благоприятно сказывается при взаимодействии с металлами щелочных оксидов, поэтому этот ресурс можно использовать, и как компонент вяжущей связки, так и в составе заполнителя, количество которого определяют лабораторным путем, для положительного действия на свойства строительных композитов. К тому же установлено [168, 172, 173], что барханные пески, выполняющие функции заполнителей, именно за счет глинистых примесей, приобретают способность к взаимодействию с щелочным раствором, становясь дополнительным вяжущим источником. Изучение конструкций, возведенных из бетонных смесей, полученных взаимодействием вяжущих щелочной активации и барханных песков, показало, что с течением времени конструктивные элементы зданий не теряют свою надежность и эксплуатационную долговечность. Такая эффективность авторами [171, 174] объясняется присутствием в вяжущей связке и в контактной зоне с заполнителем, большого количества кристаллических новообразований типа щелочного  $\text{Me}_2\text{O} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ , щелочноземельного  $\text{MeO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  и щелочно-щелочно-земельного  $\text{Me}_2\text{O} - \text{MeO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$  алюмосиликатного состава.

На основании сделанного обзора можно сделать заключение, что проблема повышения эффективности использования барханных песков в технологии ремонтных составов остается и в настоящее время актуальной. В связи с этим основной целью настоящей диссертации явилось повышение эффективности применения барханных песков в технологии путем их комплексного использования как наполнителей для ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов.

#### **1.4 Цель и задачи диссертационного исследования**

Целью диссертационного исследования является разработка рецептур комплексных модифицированных ремонтных составов на основе барханных песков для ремонта и восстановления несущей способности конструктивных элементов зданий и сооружений.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать свойства барханных песков как минеральной добавки для получения тонкомолотых вяжущих;
- разработать рецептуры активированных тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков;
- исследовать влияние наполнителей из барханных песков на процессы структурообразования цементного камня;
- исследовать влияние наполнителей из барханных песков на свойства цементного камня;
- разработать составы ремонтных модифицированных составов на основе барханных песков;
- изучить влияние гранулометрии и вида заполнителя на свойства модифицированного ремонтного состава;
- исследовать технологические, физико-механические и эксплуатационные свойства предлагаемых ремонтных модифицированных составов;
- разработать рекомендации по ремонту бетонных и железобетонных конструкций с применением ремонтного модифицированного состава на основе барханных песков;
- производственная апробация разработанного ремонтного модифицированного состава на основе барханных песков;
- определить технико-экономическую эффективность от применения разработанного ремонтного модифицированного бетона при ремонте бетонных, железобетонных и каменных конструкций.

**Рабочая гипотеза диссертационного исследования** сводится к определению возможности получения комплексных модифицированных ремонтных составов с улучшенными характеристиками на основе барханных песков с целью восстановления несущей способности изделий и конструкций и продления срока их службы.

Для подтверждения данной гипотезы необходимо установить зависимость между свойствами предлагаемых модифицированных ремонтных составов на барханных песках и рецептурой наполненного вяжущего с комплексным использованием портландцемента, минерального и полимерного компонента, выявить оптимальное содержание вводимых добавок, исследовать процессы формирования структуры и технологии ремонтных модифицированных составов.

## **ГЛАВА 2. ИССЛЕДОВАНИЕ БАРХАННЫХ ПЕСКОВ КАК АКТИВНОЙ МИНЕРАЛЬНОЙ ДОБАВКИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТОНКОМОЛОТЫХ ВЯЖУЩИХ**

В качестве минеральной добавки для получения тонкомолотых цементов были исследованы природные барханные пески Терского песчаного массива, представляющие собой песчаные отложения древнего Каспия.

Если рассмотреть исторические моменты образования барханных песков, то начнем с того, что Терско-Кумская низменность многократно заливалась водами Каспия и на ее поверхности наслаивались толщи морских осадков. Реки, впадающие в древний Каспийский бассейн, отлагали в своих устьях приносимый ими мелкий обломочный материал, создавали большие песчаные дельты [7, 9]. Сейчас эти дельты сохранились на Терско-Кумской низменности в виде крупных песчаных массивов. Своим сильно всхолмленным рельефом они резко выделяются среди окружающей их равнины. К территории Чеченской Республики относится только южная

часть Терско-Кумской низменности. Почти три четверти всей ее площади занимает Притерский песчаный массив. Его эоловый рельеф сформировался под действием господствующих на низменности восточных ветров [7].

В настоящее время барханный песчаный массив раскинулся на территории более 50 млн. га и нужно отметить, что процессы опустынивания протекают во многих субъектах Российской Федерации: Калмыкии, Дагестане, Астраханской, Волгоградской, Саратовской, Ростовской областях, Ставропольском крае и др. Возрастающие антропогенные нагрузки на природные экосистемы обуславливают их разрушение, деградацию растительного покрова, формирование очагов опустынивания и, в конечном итоге, возникновение кризисных ситуаций [13]. В конце 60-х годов прошлого столетия площадь барханных песков составляла 1% от площади сельскохозяйственных угодий; в конце 70-х годов – 20 %, а в конце 80-х годов барханные пески занимали уже 50 – 60 %. Ежегодный прирост барханных песков составлял 60,0 тыс. га. Процесс опустынивания приобрел спонтанное развитие, ситуация стала оцениваться как экологическое бедствие [13, 14].

Предлагаются различные методы борьбы с опустыниванием: перераспределение земель между землепользователями, решение социально-экономических проблем сельских администраций с целью ликвидации очагов опустынивания на землях вокруг поселков, закрепление песков и комплексная фитомелиорация.

В данной работе предлагаются иные мероприятия для решения этой проблемы, это разработка тонкомолотых цементов с использованием барханных песков и получение ремонтных составов из мелкозернистых бетонов на основе барханных песков, что позволит в какой-то мере предотвратить опустынивание Терско-Кумской низменности.

## **2.1 Методы исследования и применяемые материалы**

### **2.1.1 Характеристика сырьевых материалов**

Для определения основных характеристик сырьевых материалов для получения исследуемых ремонтных мелкозернистых бетонов на основе барханных песков применялось поверенное оборудование, и экспериментальные исследования проводились строго по методикам соответствующих нормативных документов:

ГОСТ 310.1 – Цементы. Методы испытаний. Общие положения;

ГОСТ 310.2 – Цементы. Методы определения тонкости помола;

Инструкция по измерению удельной поверхности цементов и аналогичных порошкообразных материалов при помощи прибора ПСХ-12;

ГОСТ 310.3 – Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема;

ГОСТ 310.4 – Цементы. Методы определения пределов прочности при изгибе и сжатии;

ГОСТ 8735 – Песок для строительных работ. Методы испытаний.  
про

В качестве вяжущего в экспериментах использовался портландцемент (ПЦ) ЦЕМ I 42,5 Н ГУП «ЧЕЧЕНЦЕМЕНТ» Чири-Юртовского цементного завода. Химический состав этого портландцемента, % по масс.:  $\text{SiO}_2 = 20,09$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 5,3$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4,06$ ;  $\text{MgO} = 2,03$ ;  $\text{CaO} = 63,14$ ;  $\text{SO}_3 = 2,44$ ;  $\text{TiO}_2 = 0,066$ ;  $\text{Na}_2\text{O} = 0,22$ ;  $\text{K}_2\text{O} = 0,38$ ; ппп = 2,2.

Минералогический состав, % по масс.:  $\text{C}_3\text{S} = 59$ ;  $\text{C}_2\text{S} = 16$ ;  $\text{C}_3\text{A} = 8$ ;  $\text{C}_4\text{AF} = 13$ . Основные характеристики представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Основные характеристики портландцемента

Удельная поверхность, $\text{см}^2/\text{г}$	НГ, %	Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$	Сроки схватывания, час. - мин.		Активность, МПа, 28 сут	
			начало	конец	сжатии	изгибе
3300	25	3100	2 - 15	3 - 40	52,6	6,2

Заполнители применяемые в экспериментальных исследованиях были использованы местные Чеченской Республики, мытые отсева дробления горных



пород Аргунского месторождения, барханный песок Шелковского района Чеченской Республики  $M_k = 0,6$ , кварцевый песок Червленского месторождения, модуль крупности  $M_k = 1,8$ . В таблицах 2.2 и 2.3 приведены основные физико-механические характеристики заполнителей.

Таблица 2.2 – Основные физико-механические характеристики отсевов дробления Аргунского карьера

Размер сит, мм	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Остаток на дне сит
Частные остатки, %	2,2	39,2	16,0	19	13	7,4	3,2
Полные остатки, %	2,2	41,4	57,4	76,4	89,4	96,8	
Модуль крупности	3,58						
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	2,4						
Истинная плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	2620						
Средняя насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1510						
Пустотность песка, %	42,2						

Испытания отсевов дробления горных пород, барханных песков и кварцевых песков Червленского месторождения проводились согласно ГОСТ 8735 «Песок для строительных работ. Методы испытаний»

Таблица 2.3 – Основные физико-механические характеристики песков Червленского месторождения

Размер сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Остаток на дне сит
Частные остатки, %	2	4	14	44	34	2
Полные остатки, %	2	6	20	64	98	
Модуль крупности	1,8					
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	2,4					
Истинная плотность	2620					

зерен, кг/м <sup>3</sup>	
Средняя насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1560
Пустотность песка, %	40,5

Химический состав кварцевых песков Червленского месторождения, %:  
 $\text{SiO}_2 = 67,62$ ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 12,55$ ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 3,78$ ;  $\text{MgO} = 2,31$ ;  $\text{CaO} = 7,48$ ;  $\text{SO}_3 = 0,36$ ;  
 $\text{TiO}_2 = 0,1$ ; ппп = 5,8.

В Чеченской Республике самый засушливый и полупустынный районы являются Наурский и Шелковской, расположенные на севере республики, где находится крупнейший на Северном Кавказе и на Терско-Кумской низменности Терский песчаный массив (рисунок 2.1).

Терский песчаный массив площадью около 2 тыс. км<sup>2</sup> в пределах Чечни занимает северную, самую низменную часть республики на высотах от 0 до 125 м над уровнем моря и ограничен с юга и юго-востока поймой реки Терек, а с запада и севера — административной границей Чечни со Ставропольским краем и Дагестаном. Господствующим ландшафтом этого района является полупустынная степь с эоловыми формами рельефа открытых барханных песков, подверженных процессам выдувания.



Рисунок 2.1 – Барханная песчаная степь — характерный ландшафт Терского песчаного массива Чечни

Терский песчаный массив представляет собой песчаные отложения

древнего Каспия и входит в состав Терско-Кумской низменности, которая, в свою очередь, является юго-западной окраиной Прикаспийской низменности. Барханные, бугристые, слабо закреплённые и подвижные пески занимают значительную площадь региона. Отличительной особенностью барханных песков является высокая общая удельная поверхность и низкий модуль крупности, в основном это очень мелкие пески.

В гранулометрическом составе барханных песков в основном преобладают частицы размером меньше 0,1 мм, модуль крупности меньше единицы, относя данные пески к разряду тонких песков. Удельная поверхность барханных песков достигает примерно 31 м<sup>2</sup>/кг, для сравнения можно привести пример, удельная поверхность мелкого песка Червленского месторождения (ЧР) составляет удельную поверхность 8 м<sup>2</sup>/кг.

Минеральный состав барханных песков отличается тем, что суммарно они могут содержать до 50 % полевых шпатов, карбонатов и глинистых примесей.

Визуальный анализ с помощью бинокулярного микроскопа установил, что данные пески светлого, а местами серовато-желтоватого цвета. Преимущественно они представлены зернами белого, прозрачного и замутненного кварца. Изучение частиц барханного песка методом сканирующей электронной микроскопии (рисунок 2.2), показало, наличие зерен неправильной формы с овальными, сглаженными контурами, в небольшом количестве присутствуют остроугольные обломки.

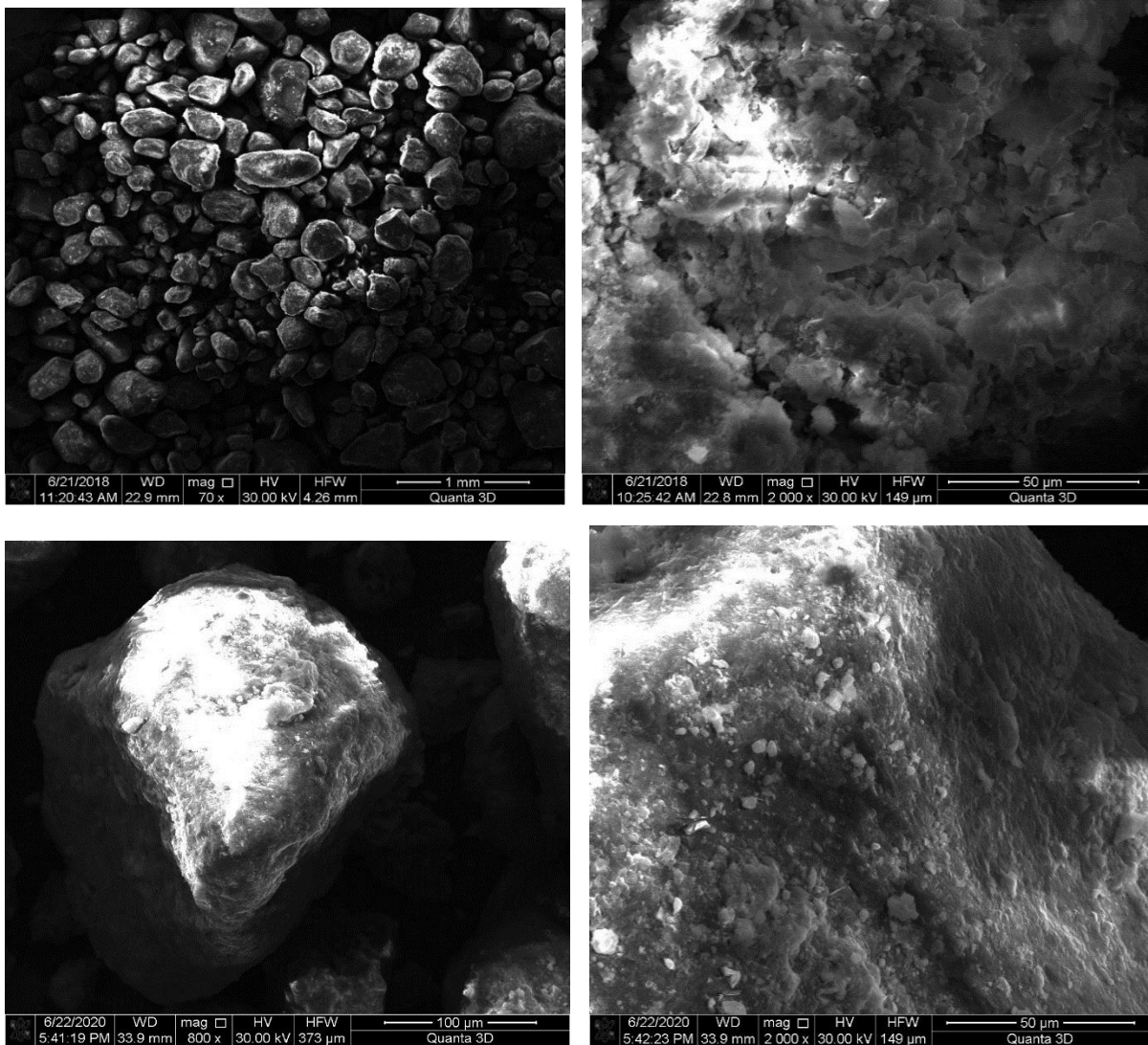


Рисунок 2.2 – Микрофотографии зерен барханного песка

Энергодисперсионный анализ исследуемого барханного песка представлен в таблице 2.4 и на рисунке 2.3.



	0,25	0,1	0,05	0,01	0,005	0,005	основной массы песка
Кварц	60	52,7	45,7	45,7	40	31,3	48,0
Полевой шпат	5	12,6	11,7	11,9	10	30,6	10,5
Карбонаты	-	0,72	11,1	41,8	40	2,7	13,0
Слюда	-	-	-	6,08	10	37,4	2,5
Остальные	35	34,0	31,3	4,1	-	-	6

Исследованные барханные пески природного происхождения использовались для получения активированных тонкомолотых вяжущих в производстве ремонтных составов с улучшенными эксплуатационными показателями.

Для получения ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов на основе барханных песков использовались водорастворимые карбоксилатные и акрилатные полимеры, применение которых позволит существенно изменить в лучшем направлении такие важные для ремонтных составов технологические показатели, как подвижность и водопотребность, удобоукладываемость и водоотделение, расслаиваемость и сохраняемость, адгезия со старым основанием, набор прочности и другие.

Были использованы современные эффективные суперпластификаторы SIKА VISCOCRETE 5 NEW и Хидетал-ГП-9 «β» на основе поликарбоксилатных эфиров. Механизм действия основан на образовании электростатических зарядов и пространственной стабилизации поверхности цемента, что способствует к диспергированию и дефлокуляции смеси, увеличивая подвижность, но водоцементное отношение смеси существенно снижается. К тому же данные добавки увеличивают эксплуатационные свойства ремонтных составов. Технические характеристики суперпластификаторов приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Технические характеристики суперпластификаторов

Наименование добавки	SIKA® VISCOCRETE® 5 NEW
Основа	водные растворы поликарбоксилатных эфиров
Внешний вид	жидкость бесцветного цвета
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,07-1,09
РН-показатель, ед.	4,0-6,0
Соответствует	ТУ 2493-13613997-2011
Рекомендуемая дозировка	0,3-1,6 % жидкой добавки от массы цемента
Наименование добавки	«Хидетал-ГП-9»
Внешний вид	жидкость темно- коричневого цвета
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,00 ±0,01
РН-показатель, ед.	6,5
Рекомендуемая дозировка	0,5-2,0 % жидкой добавки от массы цемента

В качестве акрилатных сополимеров использовали акриловую дисперсию от российских производителей «АКРЭМОС 101» производства ОАО «Оргстекло» г. Дзержинск, Нижегородской область, качественные показатели которой приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Качественные показатели акриловой дисперсии

Наименование добавки	АКРЭМОС 101
Внешний вид	Молочно-белая жидкость
Массовая доля сухого вещества, %	50,8
Массовая доля остаточного мономера, %	отсутствует
РН-показатель, ед.	7,2

Акрил является производной акриловой кислоты, которая в свою очередь является простейшим представителем одноосновных непредельных карбоновых кислот. Акриловая кислота относительно легко полимеризуется, в результате чего она преобразовывается в полиакриловую кислоту. А при взаимодействии с мономерами акриловая кислота, в свою очередь, образует акрилатные сополимеры.

Для получения тонкомолотого вяжущего на барханных песках использовалась пластифицирующая добавка С-3, соответствующая ТУ 6-36-

0204229-625-90, произведенная п/о «Оргсинтез» в г. Новомосковск Тульской области и состоящая из продуктов конденсации меламинасульфоуксусной кислоты и формальдегида.

Гидрофобизирующий 30 % водно-спиртовой раствор полиметилсиликоната натрия марки ГКЖ-11 ТУ 6-02-696-76, полученный из кубов остатков ректификации метилхлорсиланов. Производитель Данковский химический завод Липецкой области.

### **2.1.2 Методика проведения исследований**

В данной работе проектируются ремонтные составы из мелкозернистых бетонов, к которым предъявляются специальные требования: быстрый процесс схватывания или наоборот хорошая сохраняемость смеси, возможность пластифицирования мелкозернистой смеси (осадка конуса более 10 см), высокая плотность, способность расширяться, стойкость против химической агрессии, ну и конечно основное качество — это хорошая адгезия к существующему бетону. Все перечисленные свойства исследовались в данной работе и для проведения экспериментальных испытаний были использованы методики ГОСТ.

Барханные пески, портландцемент являются очень мелким материалом, но, чтобы повысить реакционную активность этой минеральной составляющей его подвергали механоактивации в различных конструкциях помольного оборудования: вибрационной шаровой мельнице МВ-20 с объемом рабочей емкости 20 и роликовой лабораторной мельнице МЛР-15 с объемом загрузки 15 л. Для того чтобы определить тонкость помола полученных тонкодисперсных порошков необходимо было выявлять такую величину как удельная поверхность. Эта характеристика способствует интенсивности протекания химических процессов в системе. Для определения этой величины использовался прибор ПСХ-12, который необходим для измерения удельной поверхности порошкообразных материалов методом воздухопроницаемости.



Испытание вяжущих веществ проводилось в соответствии с ГОСТ 310.1 «Цементы. Методы испытаний. Общие положения», ГОСТ 310.2 «Цементы. Методы определения тонкости помола», ГОСТ 310.3 «Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема», ГОСТ 310.4 «Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии», ГОСТ 5382 «Цементы. Методы химического анализа», ГОСТ 6139 «Песок стандартный для испытаний цемента. Технические условия».

Нормальная густота цементного теста или водопотребность позволяет оценить равноподвижность и поведение вяжущего при механическом воздействии. Определяют в соответствии с ГОСТ 310.1 - 81, ГОСТ 310.2 - 81, ГОСТ 310.3 - 81, ГОСТ 310.4 - 81. В сферической чашке в течение 5 минут вымешивают смесь, состоящую из вяжущего и предположительного количества воды. Затем этой смесью заполняют заранее подготовленную форму-конус в несколько приемов, уплотняя 15 разовым штыкованием, и устанавливают ее на встряхивающий столик. В течение 30 секунд производят 30 встряхиваний после того как поднимают форму-конус и смесь растекает на стеклянной пластине. Замеряем диаметр расплыва конуса по двум перпендикулярным направлениям, он должен быть  $170 \pm 5$  мм, что соответствует нормальной густоте цементного теста. В других случаях необходимо производить корректировку количества воды и повторяют опыт до тех пор, пока расплыв конуса не будет соответствовать заданному диапазону. Значение нормальной густоты определяют с точностью до 0,25%.

Процессы структурообразования цементных систем исследовались двумя методиками. Первая методика основана на изучении кинетики изменения температуры цементных систем с применением поверхностно-активных добавок, вторая при помощи замеров скорости прохождения ультразвука.

Исследование температуры изменения твердеющей системы проводилось при помощи сосуда Дьюара в который помещали цементное

тесто нормальной густоты, который в свою очередь погружали в стакан большего объема с прослойкой теплоизоляционного материала. Сосуд Дьюра закрывают и через специальное отверстие через 15-20 минут опускают термометр для замера температуры и построения графика зависимости изменения температуры во времени. Максимальный подъем температуры и будет концом схватывания цементной системы от момента затворения водой.

Методика измерения скорости прохождения ультразвука, позволит по резкому снижению скорости ультразвука определить начало формирования структуры. Датчики с определенной силой прижимают к поверхности образца. Необходимо чтобы образец был правильных геометрических размеров и находился в форме, которая не будет проводить электрический ток и создавать магнитное поле. Скорость пропускания ультразвука определяется по формуле:

$$V = \frac{l}{t} 1000, \quad (2.1)$$

где  $V$  - скорость прохождения ультразвука (м/с);

$l$  - база прозвучивания (расстояние между датчиками при сквозном прозвучивании) (мм);

$t$  - время прохождения ультразвука (мкс).

Через каждые 30 минут нужно снимать показания датчика прибора, вычисляем по формуле скорость прохождения ультразвука и строим график. Точка снижения скорости ультразвука соответствует началу периода формирования структуры.

Водопотребность барханного песка определялась по следующей методике предложенной Ю.М. Баженовым. В сферической чашке приготавливают цементное тесто нормальной густоты и диаметр расплыва на встряхивающем столике  $170 \pm 5$  мм. Затем приготавливают цементно-песчаное тесто в соотношении 1:2 и определяют то количество воды, которое необходимо для получения того же диаметра расплыва раствора.

Водопотребность барханного песка определяют по формуле:

$$V_{\text{п}} = \frac{((B/\text{Ц})_{\text{р}} - (B/\text{Ц})_{\text{ц}})}{2} 100 \% \quad (2.2)$$

Испытание бетонной смеси проводилось в соответствии с ГОСТ 7473 - 94 “Смеси бетонные. Технические условия.”, ГОСТ 10181.0 - 81 “Смеси бетонные. Общие требования к методам испытаний”, ГОСТ 10181.1 - 81 “Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости.”, ГОСТ 10181.2 - 81 “Смеси бетонные. Методы определения плотности.”, ГОСТ 10181.3 - 81 “Смеси бетонные. Методы определения пористости.”, ГОСТ 10181.4 - 81 “Смеси бетонные. Методы определения расслаиваемости.”.

Определение удобоукладываемости ремонтных составов из мелкозернистых бетонов на барханных песках проводили по осадке конуса на стандартном конусе по осадке конуса бетонной смеси при строго вертикальном подъеме стандартного конуса.

Для определения механических свойств ремонтных составов из мелкозернистых бетонов испытания проводились по определению предела прочности на сжатие и изгиб и деформативных показателей на прессе МП-1000 «Щелкунчик» по ГОСТ 10180 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам»

Водонепроницаемость ремонтных составов из мелкозернистых бетонов на барханных песках определялась ускоренным методом оценки воздухопроницаемости по ГОСТ 12730.5-84 с использованием прибора ВВ-2 (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Испытания ремонтного бетона на водонепроницаемость с использованием прибора ВВ-2

На приборе УБ-40 (рисунок 2.5 а) определялись усадочные и линейного расширения деформации образцов-призм с поперечным сечением размерами 40X40 мм по ГОСТ 24544-81. Адгезионная прочность затвердевших ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов измерялась по ГОСТ 28574-90 адгезиметром Е142 (рисунок 2.5 б), по усилию отрыва в МПа стальной пластины размером 5x5 см, приклеенной исследуемым составом к образцу высокопрочного бетона размером 10x10x10 см.

В данной работе для проведения экспериментов изготавливались образцы размеров 4x4x16 см; 10x10x10 см; 7,07x7,07x22 см; 15x15x15 см. Проектирование рецептур ремонтных составов из мелкозернистых смесей на основе барханных песков производилось по ГОСТ 27006 «Бетоны. Правила подбора состава бетона» и по рекомендациям к ГОСТ 27006-86 по подбору составов бетонов.

Формование экспериментальной ремонтной мелкозернистой смеси производили на лабораторной виброплощадке СМЖ-539 М. Уплотнение осуществляли при частоте 2800 кол/мин, с амплитудой колебаний 0,15-1,0 мм, через 15–20 минут после укладки. Прочность бетона неразрушающим

методом определяли методом ультразвука на приборе «Пульсар – 1.1», испытания осуществляли в соответствии с ГОСТ 22690 «Определение прочности механическими методами неразрушающего контроля» и ГОСТ 17624 «Бетоны ультразвуковой метод определения прочности».



Рисунок 2.5 – Установки для определения свойств ремонтных составов  
 а) прибор УБ-40 для определения усадочных и линейных деформаций расширения; б) прибор адгезиметр Е142 для определения адгезионной прочности

Основные физические показатели, такие как средняя плотность ремонтных составов из мелкозернистых смесей и бетона, водопоглощение по массе и по объему и некоторые другие свойства определялись в соответствии ГОСТ 12730.0 «Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости» и ГОСТ 12730.3 «Бетоны. Метод определения водопоглощения».

Водоотделение тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков проводили согласно ГОСТ 1770. Отвешивали 350 г исследуемых вяжущих и столько же воды затворения с точностью до 1 г. Воду ( $25 \pm 1$  °С) заливали в сосуд емкостью 1 л, и в течение 1 мин засыпали навеску вяжущего. Полученную суспензию перемешивали в течение 5 мин, и аккуратно

перелили в градуированный сосуд вместимостью 500 мл, который за все время эксперимента находился в неподвижном состоянии и начинают отсчет.

Объем выпавшего в осадок цементного теста (в мл) измеряют каждые 15 мин в течение 1 часа и через каждые 30 мин при дальнейших наблюдениях.

Коэффициент водоотделения ( $K_B$ ) в % вычисляют по формуле:

$$K_B = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \cdot 100 \quad (2.3)$$

где  $V_1$  - первоначальный объем раствора, см<sup>3</sup>;

$V_2$  - объем осевшей раствора в данный срок, см<sup>3</sup>.

Морозостойкость ремонтных составов из мелкозернистого бетона исследовалась дилатометрическим ускоренным методом согласно ГОСТ 10060.3 «Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости», использовали прибор «БЕТОН-ФРОСТ» и морозильную камеру.

Для исследования макро- и микроструктуры ремонтных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках и изучения химического и минералогического составов сырьевых материалов применяли дисперсионно-энергетический спектрометр (ДЭС) растрового электронного микроскопа Quanta 3D 200i с интегрированной системой микроанализа Genesis Apex 2 EDS от EDAX. Обработка полученных спектров осуществлялась при помощи программного ресурса EDAX TEAM.

На данном электронном микроскопе изучались сколы ремонтных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках, барханный песок и на основе этого были получены электронные микрофотографии, которые присутствуют в работе.

На дифрактометре типа Дрон-2 исследовали рентгенофазовый анализ (РФА) с регистрацией результатов испытаний на самопишущем

потенциометре при непрерывном процессе. РФА предоставляет именно те показатели, которые соответствуют каждой фазе на рентгенограмме с определенным набором пиков различной интенсивности - набор межплоскостных расстояний. Анализ фаз полученных новообразований проводился по специальным табличным данным. Содержание кристаллических новообразований определяли методом внутреннего стандарта, представляющим собой некоторое количество стандартного вещества и сравнение эффективности его с эффективностью линий исследуемого компонента.

## **2.2 Исследование свойств барханного песка для дальнейшего использования в ремонтных модифицированных составах**

В первом разделе главы приводятся результаты изучения природы происхождения, химического и минералогического составов барханных песков. Качество песков, используемых в качестве заполнителей для строительных смесей, регламентируется требованиями ГОСТ 8736-2014 «Песок для строительных работ. Технические условия» и ГОСТ 8735-88 «Песок для строительных работ. Методы испытаний».

Исследования основных физико-механических свойств показали, что данные пески относятся к классу тонких и модуль крупности их составляет всего лишь 0,6, в гранулометрическом составе преобладают частицы менее 0,14 мм и их доля составляет 59 %. Удельная поверхность барханных песков достигает примерно 31 м<sup>2</sup>/кг, для сравнения можно привести пример – удельная поверхность мелкого кварцевого местного песка Червленского месторождения составляет 8 м<sup>2</sup>/кг.

Содержание глинистых и илистых частиц, определяемое отмучиванием показало, что исследуемые пески отличаются незначительным содержанием этих параметров, их доля составляет 5,4 % и их можно использовать в строительстве. Истинную плотность определяли на приборе Ле Шателье и она составила 2650 кг/м<sup>3</sup>, насыпную плотность определяли на

стандартной воронке и она показала величину  $1390 \text{ кг/м}^3$ . Минералогический состав барханных песков приведенный в таблице 2.6 показывает, что кварца в исследуемом песке составляет 48 %, полевых шпатов 10,5 %, карбонатов 13 %, слюды 2,5 % и глинистых минералов 26 %. В химическом составе преобладают оксиды кремния 59,5 % и кальция – 17,5 %.

Исследованные барханные пески природного происхождения использовались как составляющая вяжущего для получения ремонтных составов на активированном вяжущем, и исследуемые пески применялись как заполнитель. Для проведения испытаний по разработке ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона использовался смешанный мелкий заполнитель, полученный фракционированием отсеков дробления горных пород и барханных песков.

Для мелких песков одним из важнейших показателей является водопотребность, так как от него зависят, подвижность бетонной смеси и прочность бетона.

Водопотребность барханного песка определялась по методике, предложенной Ю.М. Баженовым. В сферической чашке приготавливают цементное тесто нормальной густоты с диаметром расплыва на встряхивающем столике  $170 \pm 5$  мм. Затем приготавливают цементно-песчаное тесто в соотношении 1:2 и определяют то количество воды, которое необходимо для получения того же диаметра расплыва раствора.

Водопотребность барханного песка определяют по формуле:

$$V_{\text{п}} = \frac{((V/C)_{\text{р}} - (V/C)_{\text{ц}})}{2} \cdot 100 \% \quad (2.4)$$

В знаменателе данной формулы показано сколько частей песка, необходимо на одну часть цемента (1:2), для того чтобы определить сколько потребуется добавить воды в цементное тесто, чтобы сохранить показатель подвижности  $PK = 170 \pm 5$  мм.



Так же водопотребность можно рассчитать, используя стандартный монофракционный Вольский песок с модулем крупности 2,5 и водопотребностью  $V_{\text{п}} = 4 \%$  по формуле:

$$V_{\text{п}} = \frac{((V/C)_{\text{р}} - (V/C)_{\text{рс}})}{2} \cdot 100 \% + 4, \quad (2.5)$$

где  $(V/C)_{\text{р}}$  – водоцементное отношение на исследуемом песке;

$(V/C)_{\text{рс}}$  – водоцементное отношение на стандартном Вольском песке.

Испытания различных видов заполнителей показали, что водопотребность мелкого заполнителя составляет 4 – 14%, а крупного заполнителя – 1 – 10%. Крупнозернистые пески имеют  $V_{\text{п}} = 4 – 6\%$ , пески средней крупности – 6 – 8%, мелкозернистые пески – 8 – 10% и очень мелкие и тонкие пески – более 10%.

Для проведения сравнительных характеристик мелких заполнителей, применяемых в исследованиях, были исследованы барханные пески, кварцевые пески Червленского месторождения и отсев дробления Аргунского месторождения, результаты испытаний приведены в таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Исследования водопотребности заполнителя

Вид заполнителя	В/Ц	Диаметр расплава, мм	Водопот- ребность, %	Прочность образцов при сжатию, МПа
Вольский песок	0,41	170,5	4	34,4
Барханный песок месторождение Шелковское	0,74	171,0	12,3	14,1
Кварцевый песок месторождение Червленый	0,55	170,5	8,4	20,5
Отсев дробления месторождение Аргунский	0,40	170,0	5,6	30,6

Показатель водопотребности мелкого заполнителя позволяет точнее спроектировать состав бетона, правильно находить расход воды в зависимости от заданной удобоукладываемости бетонной смеси, определять сроки схватывания и минимальное значение водоцементного отношения, при котором возможно получить не расслаиваемую бетонную смесь и будет выполняться прямолинейная зависимость  $R_6 = f(V/C)$ .

Помимо водопотребности еще одним немало важным показателем, оказывающим влияние на строительные-технические свойства ремонтных бетонных смесей и бетона, является пустотность песка, которая определяется возможностью плотной упаковки заполнителя. Фактически величина пустотности не зависит от модуля крупности песка.

Представим, что в кубе единичного объема расположены зерна заполнителя одного размера или последовательно в ряд, или в шахматном порядке (рисунок 2.6).

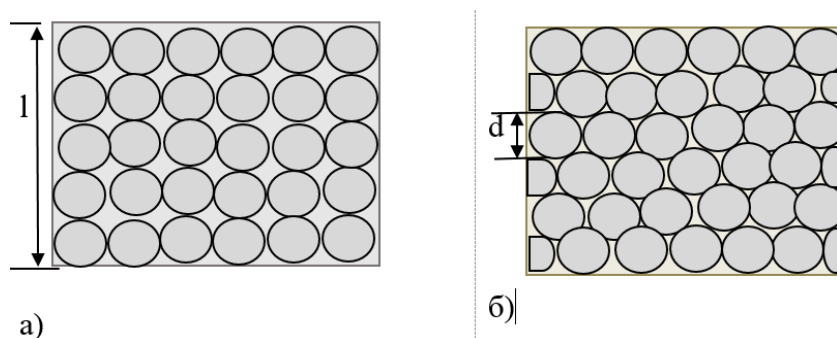


Рисунок 2.6 –Распределение зерен песка в объеме  
а) при рядовой последовательности; б) при шахматной  
последовательности

Тогда в первом варианте количество зерен расположенных на одной стороне куба составит  $n = 1/d$ , а общее число зерен во всем объеме равно  $N = n^3 = 1/d^3$  полный объем зерен:  $V_z = N \pi d^3 / 6 = \pi / 6$ .

Значит объем пустотности не зависит от диаметра зерен и равен:

– при рядовом распределении  $V_n = 1 - \pi / 6 = 1 - 3,14/6 = 0,48$ ;

– при более плотном шахматном распределении  $n_1 = 1/h$ ;  $N_1 = n n_1^2$  ;

$$V_3 = N_1 \pi d^3 / 6 = 2\pi / 9 = 0,7 ; V_n = 0,3$$

На практике в действительности, мы сталкиваемся с промежуточным распределением зерен заполнителя и пустотность будет определяться степенью уплотнения. Если в заполнителе преобладают угловатые и удлинённые (игольчатые) формы зерен, то величина пустотности возрастает. Если присутствуют зерна различной формы, особенно, в преобладании окатанная форма, то значения пустотности значительно уменьшаются. Разные фракции зерен песка способствуют получению более плотной упаковки, так как мелкие частицы будут распределяться в прослойках между зернами более крупной фракции, что приведет к снижению пустотности. Установлена зависимость [120, 121] для полифракционных заполнителей (рисунок 2.7) подтверждающая влияние объема пустот смеси на пустотность песка.

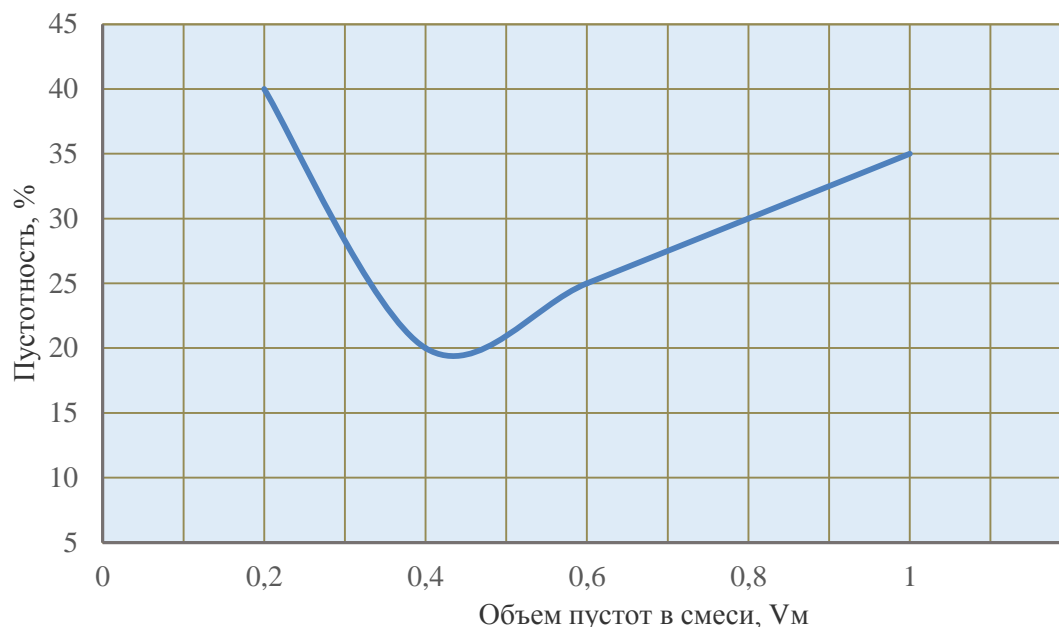


Рисунок 2.7 – Зависимость объема пустот смеси от пустотности заполнителя

Установлено, что условием получения наиболее плотной упаковки смеси, состоящей из заполнителей двух фракций (крупный и мелкий

заполнитель) будет то, чтобы разница в размерах зерен разных фракций была приблизительно 6,5 – 7 раз. Однако в технологии бетона распространены заполнители с непрерывным гранулометрическим составом, они характеризуются повышенной пустотностью, но бетонные смеси с таким заполнителем менее склонны к расслоению. Непрерывный гранулометрический состав считается тот, когда пробу заполнителя просеивают через стандартный набор сит и остатки присутствуют на всех ситах. При отсутствии остатков на некоторых ситах, гранулометрический состав будет прерывистым. Обычно пустотность заполнителя находится в пределах от 20 до 50 %. Для создания эффективных бетонов предпочтительней применять заполнители с минимальной пустотностью.

Изучение частиц барханного песка методом сканирующей электронной микроскопии (рисунок 2.2), показало, наличие зерен неправильной формы с овальными, сглаженными контурами, в небольшом количестве присутствуют остроугольные обломки. Пустотность барханного песка  $V_n$ , % можно определить двумя методами:

По первому методу на основании предварительно установленных характеристик заполнителя

$$V_n = 1 - \frac{\rho_n}{\rho \cdot 1000} \cdot 100 \%, \quad (2.6)$$

где  $\rho_n$  - насыпная плотность песка, кг/м<sup>3</sup> ;

$\rho$  - истинная плотность песка, г/см<sup>3</sup> .

По второму методу барханный песок засыпался в сосуд объемом 1 литр и заполнялся полностью до верха водой. По истечению 30 минут сосуд накрывали ситом № 008, так как барханный песок относится к категории очень тонких песков и сито № 014 создаст неточность эксперимента. После того как мы накрыли ситом № 008 сосуд его опрокидывали для стекания воды. Сосуд с водонасыщенным песком взвешивали, а потом, не снимая с весов, заполняли повторно водой опять до самого верха и снова взвешивали. Пустотность барханного песка определяли по формуле  $V_n$ , %:

$$V_n = \frac{m_2 - m_1}{V} \cdot 100 \% \quad (2.7)$$

где  $m_1$  - масса цилиндра с водонасыщенным наполнителем, кг;  $m_2$  - масса цилиндра с наполнителем и водой, кг;  $V$  - объем цилиндра, л.

В диссертационном исследовании для разработки эффективных ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов использовались мелкие наполнители различной природы – это барханный песок Шелковского месторождения и отсев дробления горных пород Аргунского месторождения, поэтому пустотность мелкого наполнителя определялась для всех видов песков. Так как в дальнейшем необходимо фракционировать эти пески для получения минимальных показателей пустотности, водопотребности, улучшения гранулометрического состава и других свойств. В таблице 2.10 приводятся результаты испытаний по определению пустотности наполнителя, на рисунке 2.8 представлена зависимость пустотности наполнителя от модуля крупности.

Таблица 2.10 – Исследование пустотности наполнителя

Вид наполнителя	Модуль крупности	Расчетная пустотность, %	Эксперимент. пустотность, %	Прочность образцов при сжатии, МПа
Вольский песок	2,5	39,4	39,0	34,4
Барханный песок месторождение Шелковское	0,6	47,4	48,0	14,1
Кварцевый песок месторождение Червлёный	1,8	40,5	41,0	20,5
Отсев дробления месторождение Аргунский	3,5	42,2	44,1	30,6

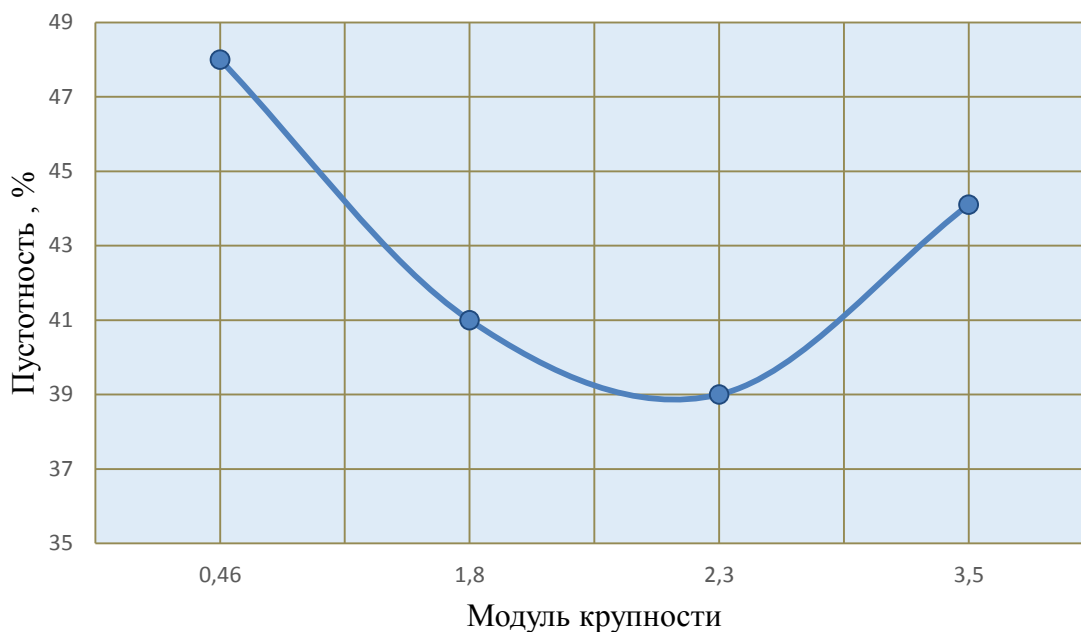


Рисунок 2.8 – Зависимость пустотности заполнителя от модуля крупности

Таким образом, проведенные исследования характеризуют барханные пески как заполнитель относящийся к категории тонких песков, в которых в основном преобладают частицы размером меньше 0,1 мм, модуль крупности меньше единицы. Удельная поверхность барханных песков достигает примерно 31 м<sup>2</sup>/кг.

Минеральный состав барханных песков характеризуется наличием до 48 % кварца, а также до 50 % полевых шпатов, карбонатов и глинистых примесей, в химическом составе преобладают кремнезем и оксид кальция.

Можно охарактеризовать исследуемые барханные пески природного происхождения как перспективный материал для получения активированных тонкомолотых вяжущих и как составляющая фракционированного заполнителя в производстве ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона с улучшенными эксплуатационными показателями.

### 2.3 Исследование степени дисперсности барханного песка

Установлено, что многие вещества, находясь в тонкодисперсном состоянии, приобретают специфические свойства, такие как химическая активность, плавление при более низких температурах, бурные реакции с

другими веществами, дают более прочные спеки при обжиге и т.д.. Объяснение этому будет не только высокая дисперсность, но и реакционная способность, которая существенно проявляется при в процессе дезинтеграции. Когда вещества длительно пребывают в исходном состоянии, у них наблюдается уменьшение поверхностной энергии, можно отметить процесс «старения» поверхности.

Различные физические явления, возникающие при многократно повторяющихся действиях раздавливания и истирания, в итоге приводят к химическим явлениям и могут быть следствием кристаллохимических превращений. Раздавливание и истирание являются основными приемами воздействия на твердые тела в результате механического измельчения и являются причиной некоторых физических явлений [23]:

- нарушая сплошность материала, приводят к увеличению свободной поверхности вещества;

- разрушая кристаллическую решетку породобразующих минералов (механолизм, механокрекинг и т.п.), способствуют раскрытию точечных микродефектов и линейных дислокаций, а формирующиеся при этом некомпенсируемые химические связи или свободные радикалы несут в себе большой запас «избыточной» энергии;

- возникают упругие, упруго-пластические и пластические деформационные напряжения;

- тонкое измельчение приводит к образованию частиц такого размера, которые возможно сравнить с размерами кристаллической решетки. При продолжении дальнейшего диспергирования неминуема перестройка кристаллической решетки, вплоть до ее аморфизации, при этом изменятся термодинамические характеристики вещества и его реакционная активность;

- выделяется определенное количество тепла, которое вызывает, разогрев диспергируемого материала;

- стимулирует эмиссию электронов и создает разность потенциалов.

Таким образом, механические воздействия на твердые тела

посредством раздавливания или истирания вызывают целый ряд существенных перемен химического и кристаллохимического порядка [23].

Исследование степени дисперсности барханных песков устанавливали по их удельной поверхности, что дает непосредственное представление о такой важной характеристике – величина свободной поверхности. Важность обусловлена тем, что по этой поверхности протекают химические реакции взаимодействия цементных зерен с водой, скорость реакций гидратации, а, следовательно, скорость схватывания и твердения. Изучение влияния вида измельчителя и условий помола на суммарную удельную поверхность проводилось с помощью различного рода помольного оборудования. В качестве измельчителей для осуществления процессов активации использовались вибрационная шаровая ВМ-20 с объемом рабочей емкости 20 л и роликовая лабораторная МЛР-15 с загрузкой до 15 л мельницы. Измельчался барханный песок в течение 20 минут, для повышения эффективности диспергирования в отдельных случаях применялся суперпластификатор С-3, дозировка его составляла 0,2 – 2,0 % от массы порошка. Оптимальная дозировка суперпластификатора определялась опытным путем, на рисунке 2.9 приведены результаты испытаний.

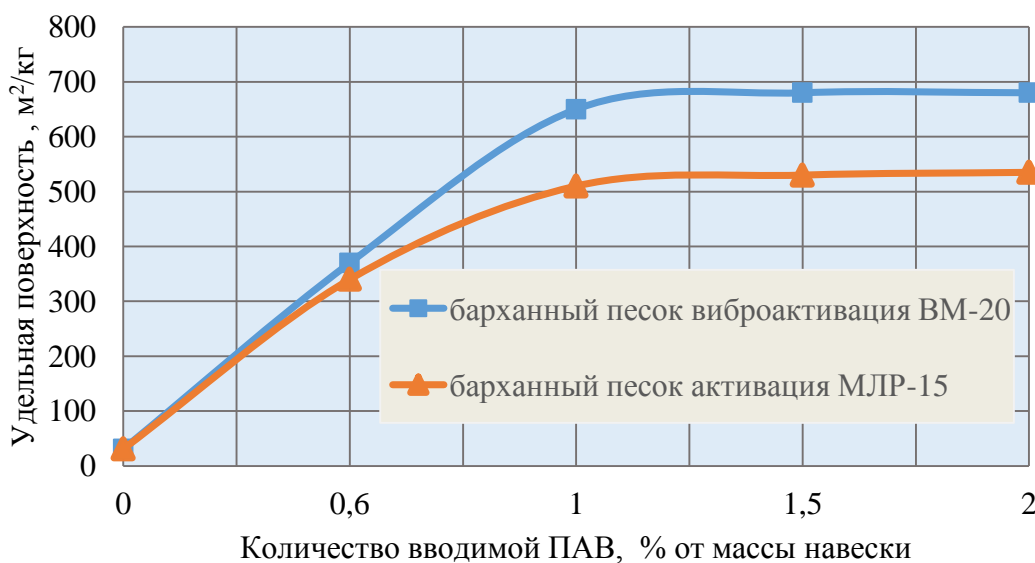


Рисунок 2.9 – График зависимости удельной поверхности от количества, вводимой ПАВ



Использование суперпластификатора С-3 в количестве 1 % от массы навески, показал наиболее высокие показатели удельной поверхности, виброактивация дает нам  $S_{уд} = 650 \text{ м}^2/\text{кг}$ , механоактивация  $S_{уд} = 500 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Дальнейшее повышение дозировки С-3 не приводит к повышению удельной поверхности порошков. В дальнейшем решено было использовать для активации вяжущих С-3 с дозировкой 1 % от массы навески.

Полученные результаты по определению степени дисперсности полученных порошков приведены в виде кривых зависимостей на графике 2.10.

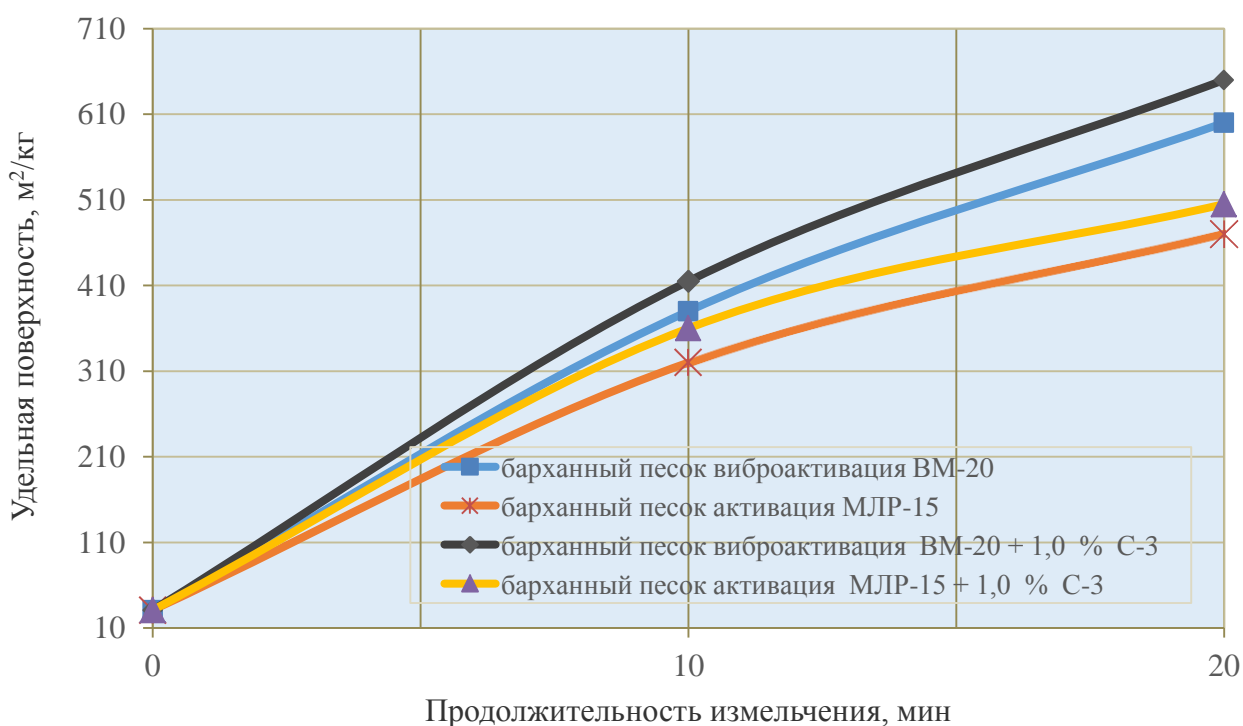


Рисунок 2.10 – График зависимости удельной поверхности барханных песков от продолжительности измельчения и вида помольного оборудования

Анализируя результаты активации барханных песков нужно отметить, что свойства наполнителей зависят от рельефа поверхности, так шероховатая поверхность добавки способствует механическому заклиниванию вяжущего и увеличивает площадь контакта с портландцементом.

Рельеф поверхности и форма частиц наполнителя будет изменяться в зависимости от типа помольных агрегатов. Так, при измельчении барханного песка в вибрационной шаровой мельнице, приобретают округлые формы, а измельчение в роликовой мельнице преимущественно дает угловатые зерна песка (рисунок 2.11).

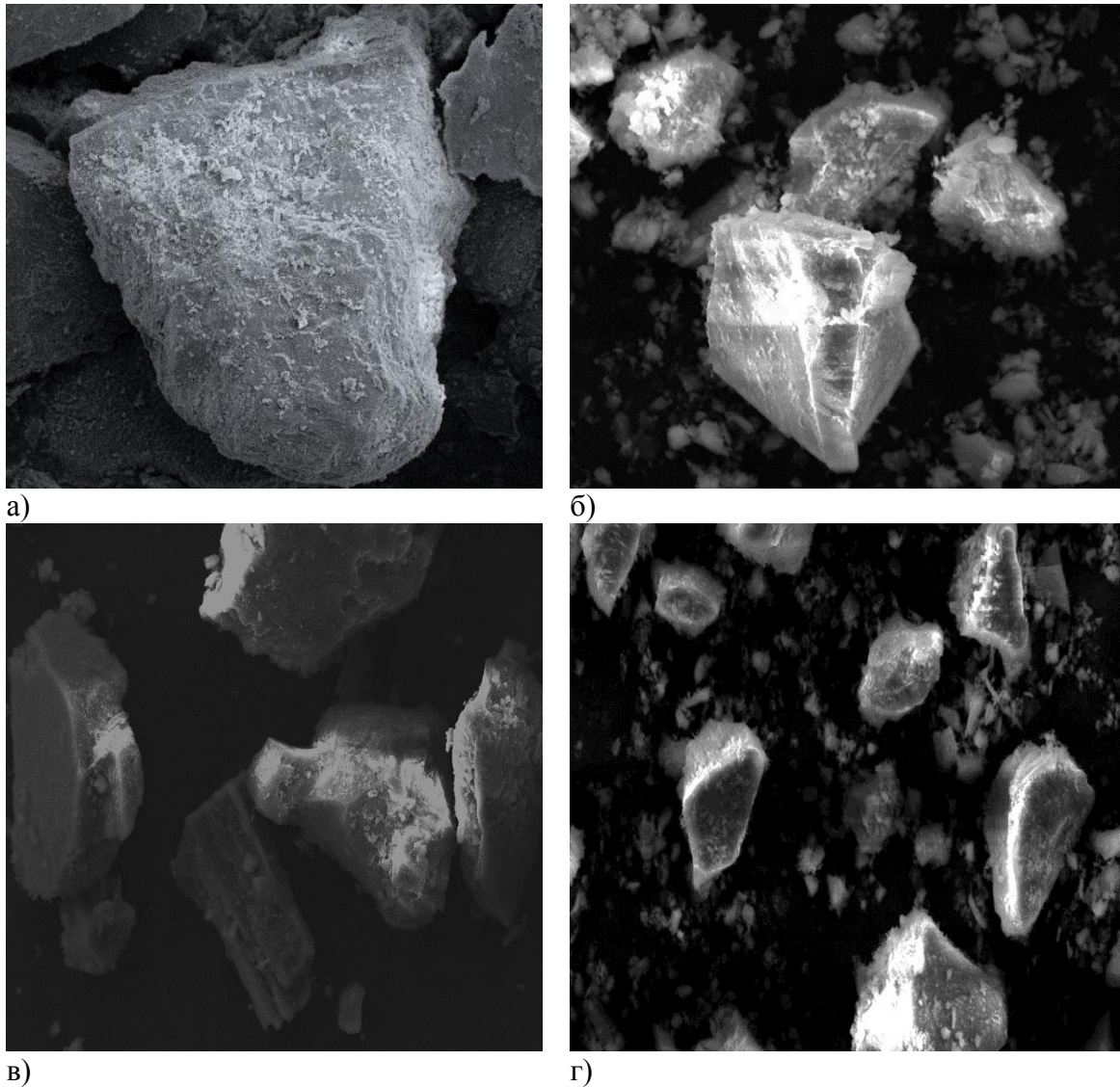
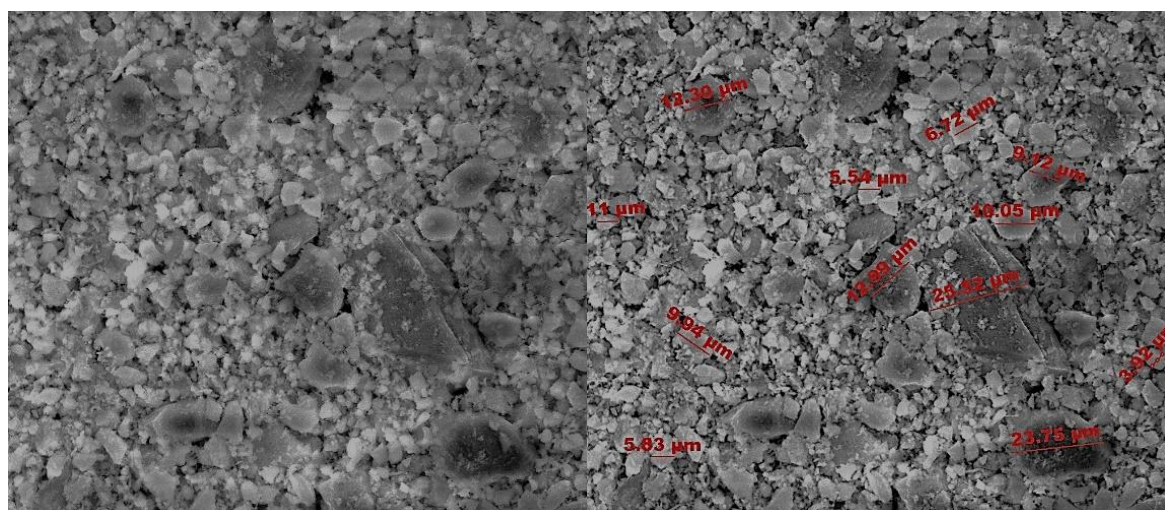


Рисунок 2.11 – Форма и рельеф поверхности зерен барханного песка  
 а, б – после измельчения в шаровой мельнице;  
 в, г – после измельчения в роликовой мельнице

Необходимо отметить, что барханный песок в изначальном виде уже является довольно дисперсным материалом, модуль крупности которого  $M_k = 0,6$  и удельная поверхность его  $31 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Удельная поверхность полученных порошков барханного песка определялась на приборе ПСХ-12, установлено,

что с увеличением продолжительности помола до 20 минут дисперсность материала повышается. Можно отметить, что измельчение в вибрационной мельнице ВМ-20 эффективней, так как удельная поверхность барханного песка 20 минутного помола составила  $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ , а использование суперпластификатора в качестве поверхностно-активного вещества увеличивает дисперсность до  $S_{\text{уд}} = 650 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Роликовая мельница дает выход порошков со значениями удельной поверхности значительно меньшими, необходимо отметить, что С-3 способствует увеличению этой характеристики.

Важно отметить и то, что минералогический состав барханного песка так же влияет на механоактивацию, в течение 10 минут происходит интенсивное измельчение мягких минералов (полевых шпатов, карбонатов и глинистых включений), а кварцевые зерна песка практически не размалываются. Но при дальнейшей активации начинают размельчаться и зерна кварца, суперпластификатор не оказывает существенного влияния на процесс механоактивации при более длительном измельчении (рисунок 2.12). На микрофотографиях частиц ТМВ-85 можно наблюдать присутствие зерен размером 5,54 -6, 72 мкм принадлежащих мягким минералам, и более крупных 10,05-12,39 мкм частиц кварца.



а)

б)

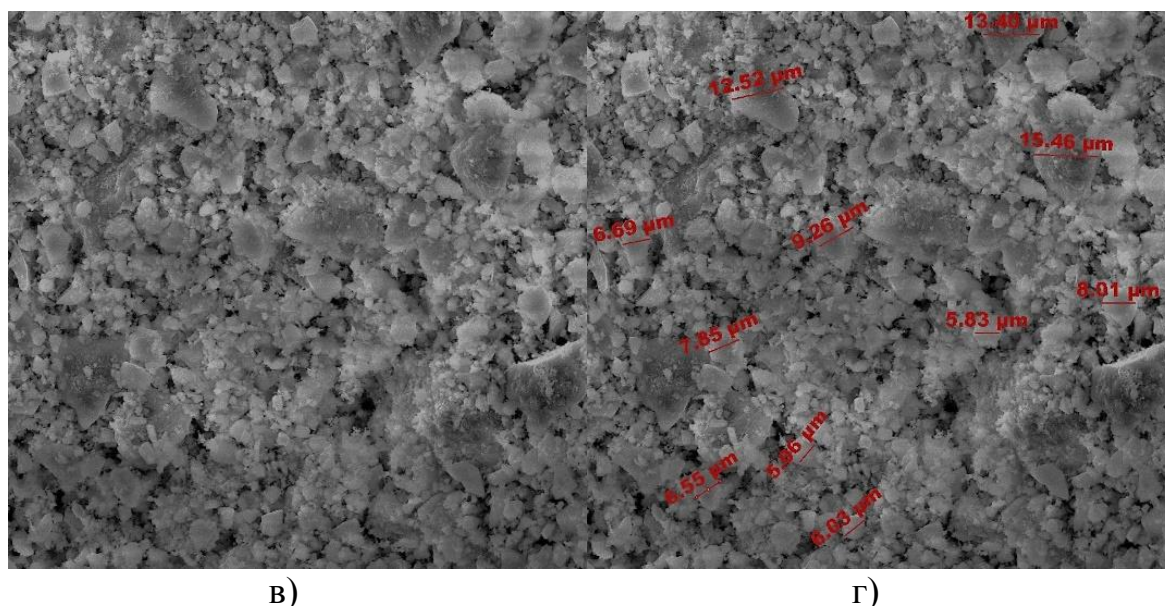


Рисунок 2.12 – Микрофотографии частиц ТМВ-75:

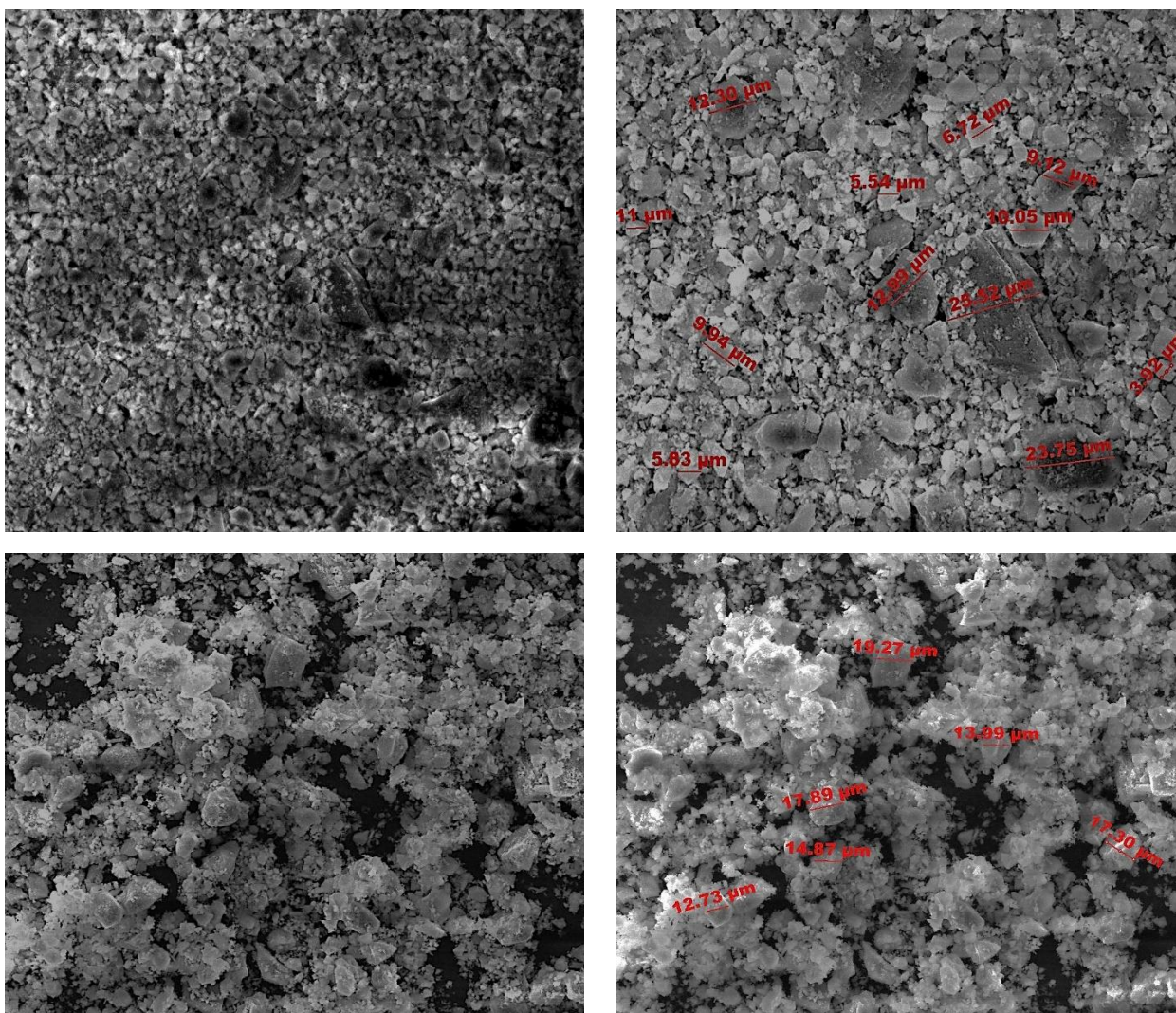
а, б – после 10 минут измельчения; в, г – после 15 минут измельчения

Процесс активации начинается до разрушения измельчаемого материала, так как импульс силы, приложенные извне на данном этапе не превышают предела прочности исходного тела, в результате происходит формирование зон остаточных напряжений из-за статического сдвига атомов из своих “нормальных” положений: кристаллическая решетка деформируется, расстояния между атомами, молекулами и ионами, углами их взаимного расположения изменяются. Далее происходит формирование новой поверхности, сопровождающееся разрушением или развитием трещин, изменением энергетического состояния материала, трансформацией механической энергии истирателя в поверхностную энергию измельченного тела, рядом физико-химических явлений.

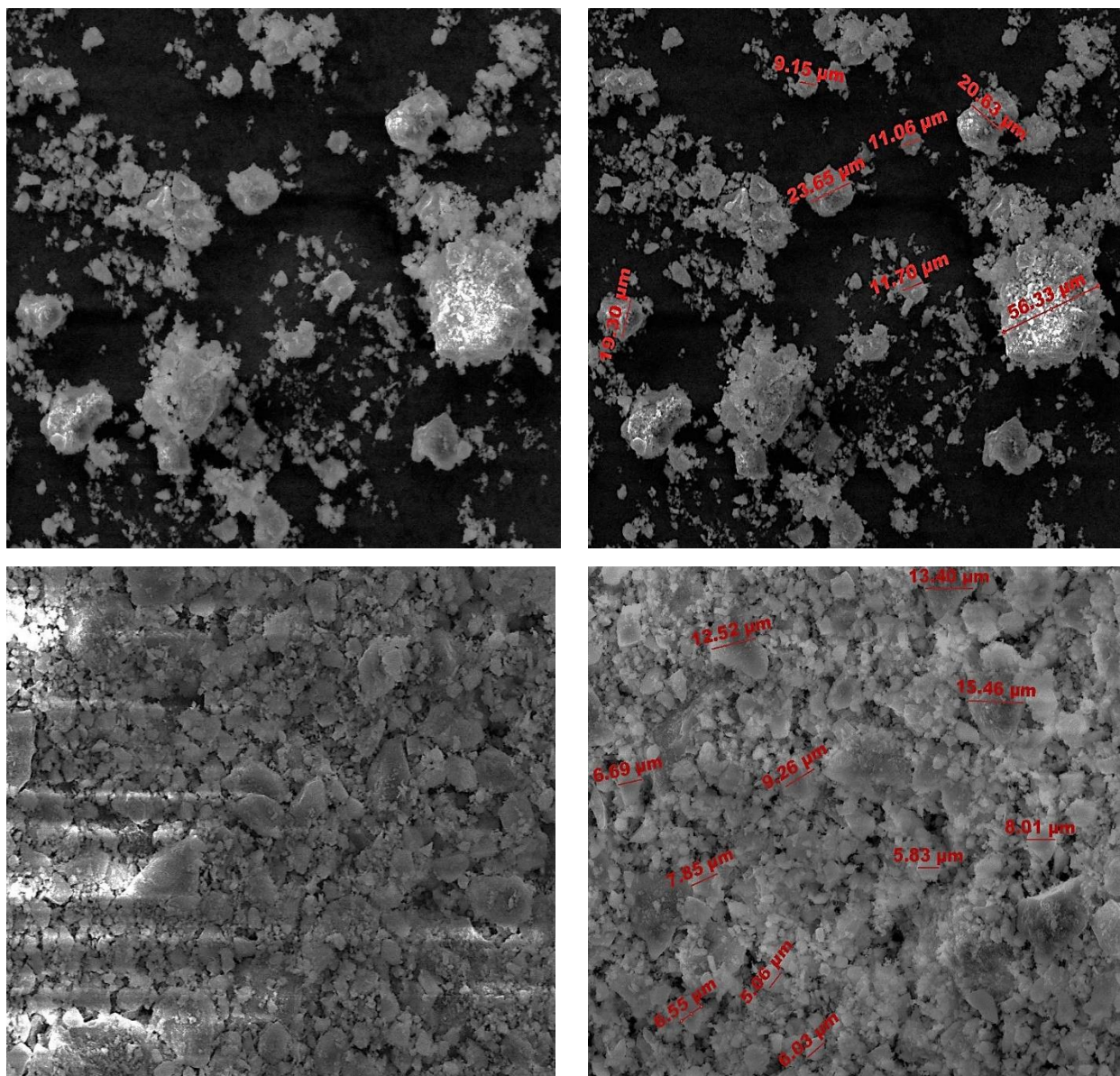
При последующем тонком измельчении наблюдается образование все более новых поверхностей, на поверхности раздела фаз раскрываются активные центры кристаллизации, изменяющие термодинамические функции и свойства материала. И наконец, при сверхтонком измельчении строение, свойства и даже частично элементный состав исходного материала полностью изменяются, превращаясь в вещество с новой гранулометрией,

оказывающим влияние на нормальную плотность цементного теста, кинетику набора прочности, сроки схватывания.

Микроструктура ТМВ-75 подвергнутого вибромеханохимической активации изучалась с помощью растрового электронного микроскопа Quanta 3D 200i с интегрированной системой микроанализа Genesis Apex 2 EDS от EDAX. На рисунке 2.14 представлены результаты исследований, которые показали, что зерна тонкомолотого вяжущего после 10 минутного помола имеют средний размер частиц 5,54 – 25, 52 мкм, а после 20 минутного помола частицы ТМВ имеют средний размер 5,03 – 23,65 мкм, следовательно, более продолжительный помол существенно не изменяет удельную поверхность вяжущего.



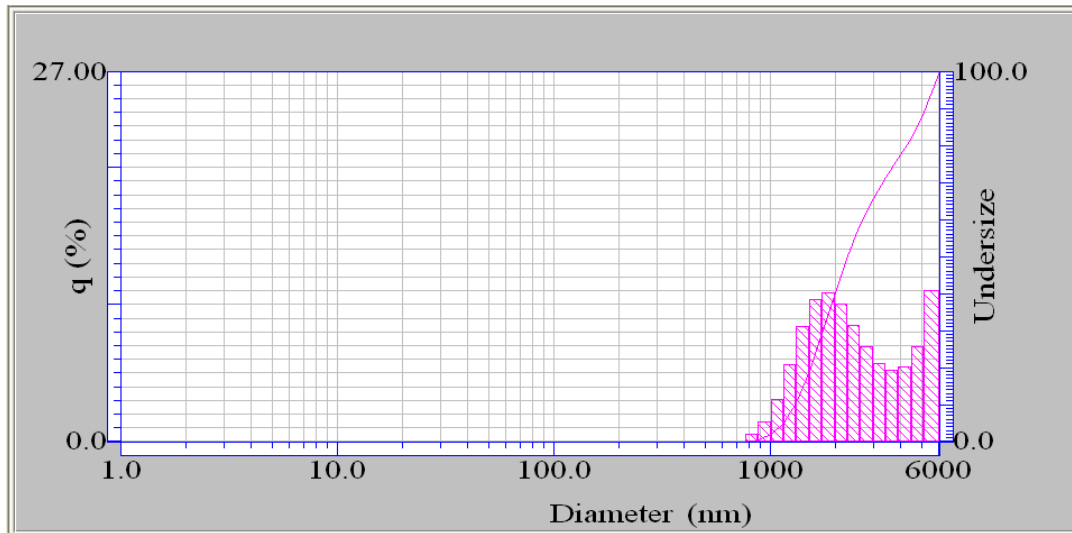
ТМВ-75 помол 10 минут



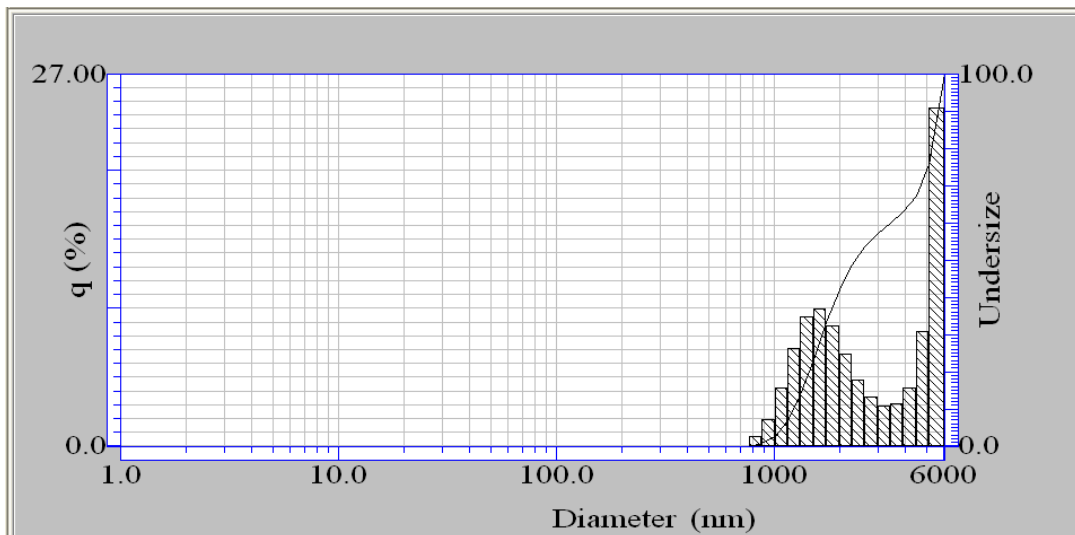
ТМВ-75 помол 20 минут

Рисунок 2.13 – Микроанализ частиц ТМВ-75 при различном времени помола

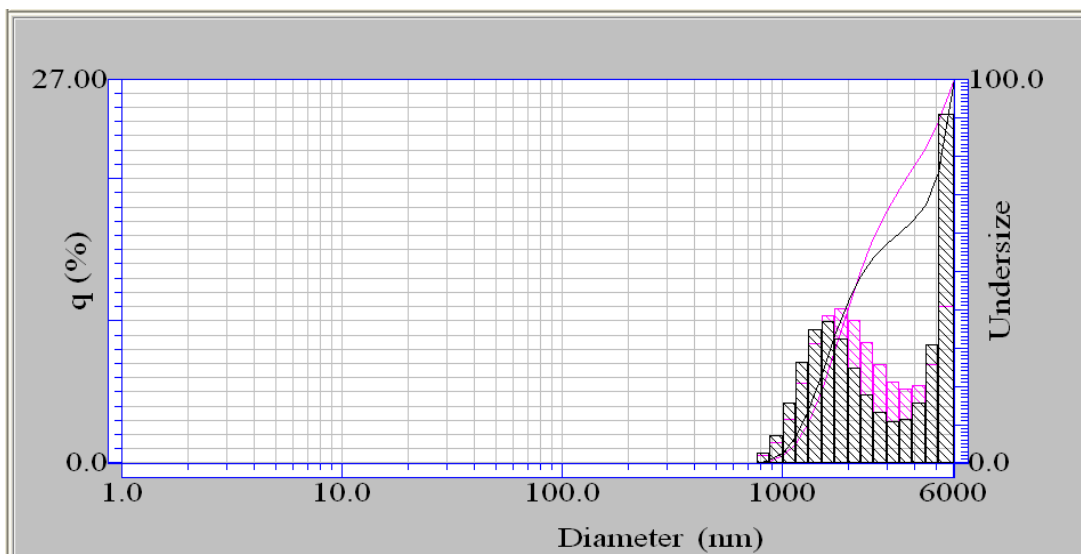
Распределение по размерам частиц ТМВ-75 исследовалось на анализаторе модели Horiba LB-550, принцип работы которого основан на динамическом рассеянии лазерного света и который применяют для измерения размеров частиц в достаточно широком пределе от 1 до 6000 нм, результаты представлены на рисунке 2.13. Исследуемые порошки ТМВ отличались только удельной поверхностью, условия приготовления были одинаковыми.



ТМВ-75 помол 10 минут



ТМВ-75 помол 20 минут



ТМВ-75 помол 10 и 20 минут

Рисунок 2.14 – Распределение частиц ТМВ -75 на микроуровне

Полученные результаты подтверждают, что распределение частиц ТМВ-75 при 10 и 20 минутном помоле отличается незначительно, средний размер частиц ТМВ – 75 в первом случае составил 2,351 мкм, а во втором – 2,261 мкм, следовательно, учитывая энергозатраты и использование технологического оборудования рациональней можно считать ТМВ активированное 10 минутным измельчением.

Таким образом, процесс активации барханных песков в шаровой вибрационной мельнице, способствует повышению степени дисперсности полученных порошков, а это необходимо для получения тонкодисперсного наполнителя, который играет роль подложек процессов структурообразования цементного камня.

#### **2.4 Разработка рецептур, активированных тонкомолотых вяжущих на основе барханного песка**

Проведенные исследования показали, что тонкое измельчение барханных песков совместно с ПАВ существенно не повышают степень дисперсности полученных порошков в независимости от вида применяемого помольного оборудования. Поэтому в дальнейших исследованиях с целью увеличения эффективности применения барханных песков в производстве ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов было решено осуществлять совместную активацию в шаровой вибрационной мельнице всех компонентов проектируемого тонкомолотого вяжущего: портландцемента, барханных песков и ПАВ.

Можно полагать, что при совместной активации всех перечисленных компонентов тонкомолотого вяжущего на первом этапе интенсивно измельчается поверхностно-активное вещество, что обусловлено наличием адгезионных сил и мягкостью компонента, частицы его равномерно распределяются на поверхности зерен портландцемента. При дальнейшем измельчении портландцемента, одновременно происходит разрушение зерен барханного песка и усиленное взаимодействие их с частицами ПАВ на



поверхности. В условиях виброчастотной активации, под воздействием мелящих тел, осуществляется контактное взаимодействие частиц всех компонентов между собой, происходит «размазывание» частиц ПАВ и барханного песка по поверхности зерен портландцемента. В продолжении этого процесса прослойки ПАВ на зернах вяжущего увеличиваются, образуя сплошной слой, в виде нетипичной микрокапсулы (рисунок 2.15).

Следовательно, процесс получения тонкомолотого активированного вяжущего при совместном измельчении портландцемента, барханных песков и ПАВ можно считать процессом твердофазного микрокапсулирования [21, 22].

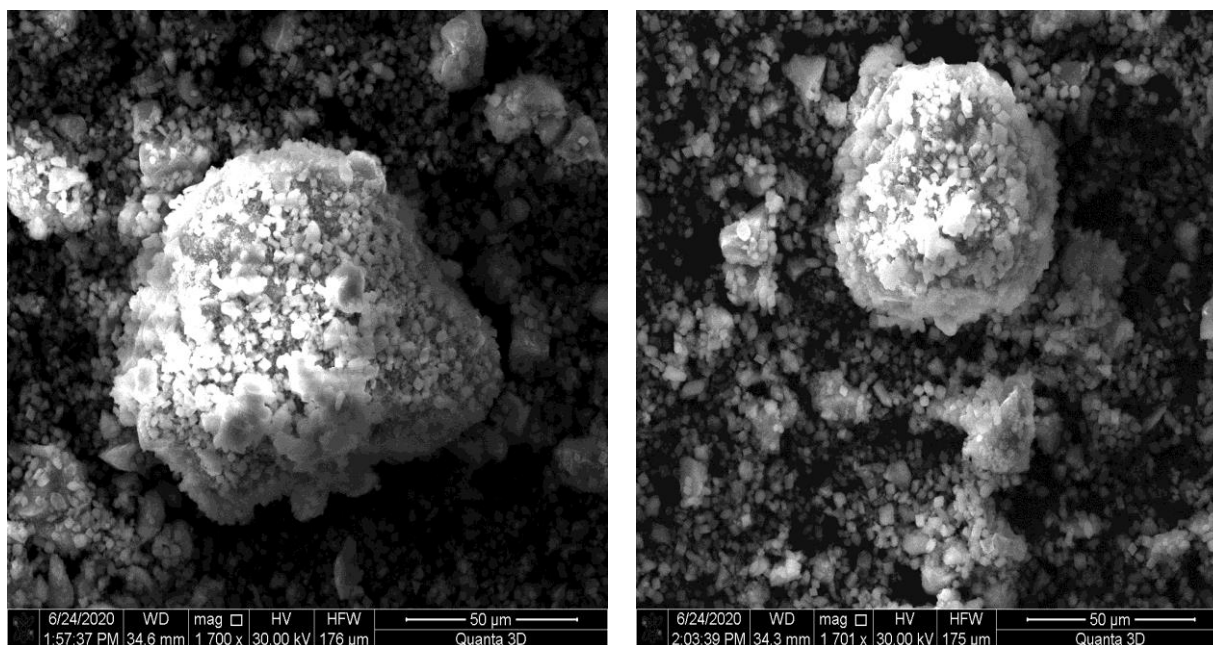


Рисунок 2.15 – Микрофотографии частиц тонкомолотого вяжущего

Анионоактивные добавки нафталинформальдегидного типа (С-3) характеризуются стабильным строением и в водном растворе почти не влияют на поверхностное натяжение на границе "жидкость – газ", и при введении их в цементную систему даже в повышенных дозах – до 2 % от массы цемента не вызывают воздухововлечения и являются хорошими диспергаторами. Кроме того, суперпластификатор при этом существенно снижает водопотребность вяжущего.

Использование виброактивации способствует более интенсивному диспергированию портландцемента, ПАВ и барханных песков и более рациональному использованию их возможностей.

Для разработки составов тонкомолотых активированных вяжущих на основе барханных песков был выбран песок Шелковского района Чеченской Республики. Основные физико-механические свойства, зерновой и минералогический составы барханных песков приведены в таблицах 2.5 и 2.6.

Барханный песок содержит почти 18 % по массе пылевидной фракции и более 5% частиц менее 0,005 мм.

Усредненные характеристики барханного песка:

насыпная плотность	1,39 кг/м <sup>3</sup> ;
истинная плотность	2,65 г/см <sup>3</sup> ;
пустотность	48%;
удельная поверхность	31 м <sup>2</sup> /кг;
водопотребность	12 %;
модуль крупности	0,6

Минералогический состав барханных песков Шелковского месторождения показал небольшое количество кварца в его составе, что значительно меньше, чем в кварцевых песках. Зерна кварца – призматической и окатанной формы, расколотые по плоскостям спаянности. Полевой шпат представлен соединениями калия и натрия, зернами полуокатанной угловатой формы, с призматическими и изометрическими формами с бурыми зернами, загрязненными железисто-глинистой массой. Слюда представлена двумя минералами: биотит и мусковит. Биотит и мусковит в виде крупных изотропных пластин по размеру превосходящими зерна других минералов. Минерал кальцит представлен в виде целитаморфных кристаллов и значительное количество их раскристаллизовано. Глинистые минералы образовались в результате выветривания полевых шпатов, слюд и представлены серицитом

(разновидность слюд), в малом количестве каолинитом и железистыми гидрослюдами.

Как показали исследования (Гл. 2 табл. 2.4, 2.6) , в барханных песках не содержится разбухающих монтмориллонитовых глин, к тому же они характеризуются большими потерями при прокаливании, что свидетельствует о высоком содержании в них химически связанной воды.

Далее приготавливались различные композиции многокомпонентных связок, которые потом смешивались в определенном соотношении и подвергались механоактивации мельнице в течение 10 и 20 минут. В таблице 2.11 приведены рецептуры тонкомолотых вяжущих.

Таблица 2.11 – Рецептуры тонкомолотых вяжущих

№ состава	Способ активации	Условное обозначение	Содержание компонентов тонкомолотого вяжущего, %		
			ПЦ	Барханный песок	С-3
1	Совместная виброактивация ВМ-20	ПЦ	100	-	-
2		ТМВ-85	84	15	1,0
3		ТМВ-75	74	25	1,0
4		ТМВ-65	64	35	1,0
5	Совместная механоактивация МЛР-15	ПЦ	100	-	-
6		ТМВ-85	84	15	1,0
7		ТМВ-75	74	25	1,0
8		ТМВ-65	64	35	1,0

Примечание: ТМВ –тонкомолотое вяжущее; ПЦ – портландцемент

Для выявления наиболее эффективного способа активации и оптимального состава тонкомолотого вяжущего проводились испытания по определению дисперсности, нормальной густоты цементного теста и плотности предлагаемых вяжущих. В таблице 2.12 приводятся результаты проведенных исследований.

Определение активности тонкомолотых механоактивированных вяжущих проводили на растворах с добавлением воды, соответствующей его нормальной густоте.

Приготавливали образцы-балочки размером 40x40x160 мм из цементно-песчаного раствора консистенции 1:3 на стандартном монофракционном Вольском песке с модулем крупности 2,5 и испытывали их после нормального 28 суточного твердения. Результаты исследований представлены на рисунке 2.16 – 2.19.

Таблица 2.12 – Свойства тонкомолотых вяжущих

№ состава	Наименование вяжущего	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Нормальная густота, %	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>
вибромеханоактивация 10 минут				
1	ПЦ	420	27,5	3,10
2	ТМВ-85	454	18,0	2,94
3	ТМВ-75	482	19,1	2,84
4	ТМВ-65	476	20,3	2,71
вибромеханоактивация 20 минут				
5	ПЦ	525	29,6	3,10
6	ТМВ-85	564	20,8	2,94
7	ТМВ-75	597	22,1	2,84
8	ТМВ-65	585	23,5	2,71
механоактивация 10 минут				
9	ПЦ	412	27,2	3,10
10	ТМВ-85	448	18,6	2,98
11	ТМВ-75	475	19,7	2,86
12	ТМВ-65	469	21,2	2,75
механоактивация 20 минут				
13	ПЦ	520	29,4	3,1
14	ТМВ-85	558	21,4	2,98
15	ТМВ-75	586	22,8	2,86
16	ТМВ-65	578	24,6	2,75

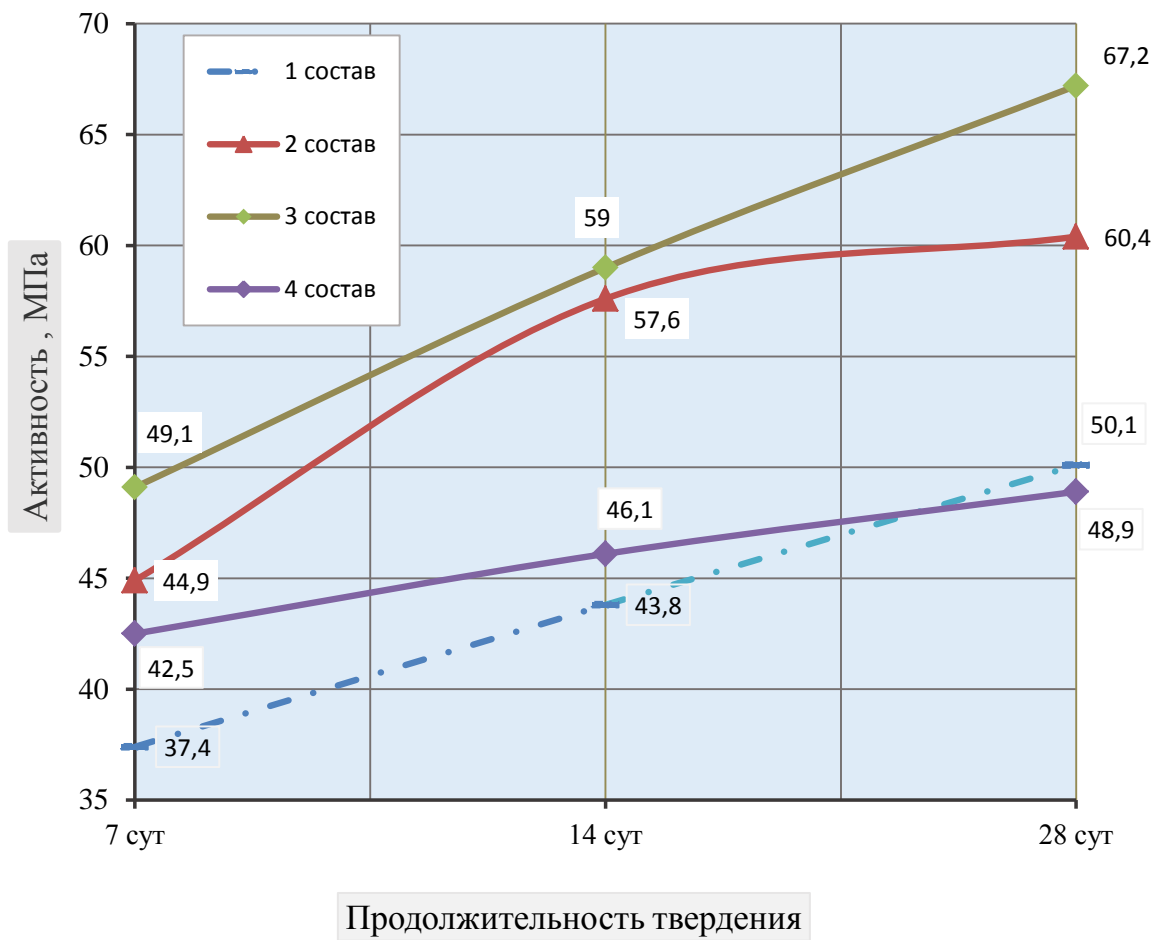


Рисунок 2.16 – График зависимости активности тонкомолотых вяжущих виброактивированных в течение 10 минут от продолжительности твердения

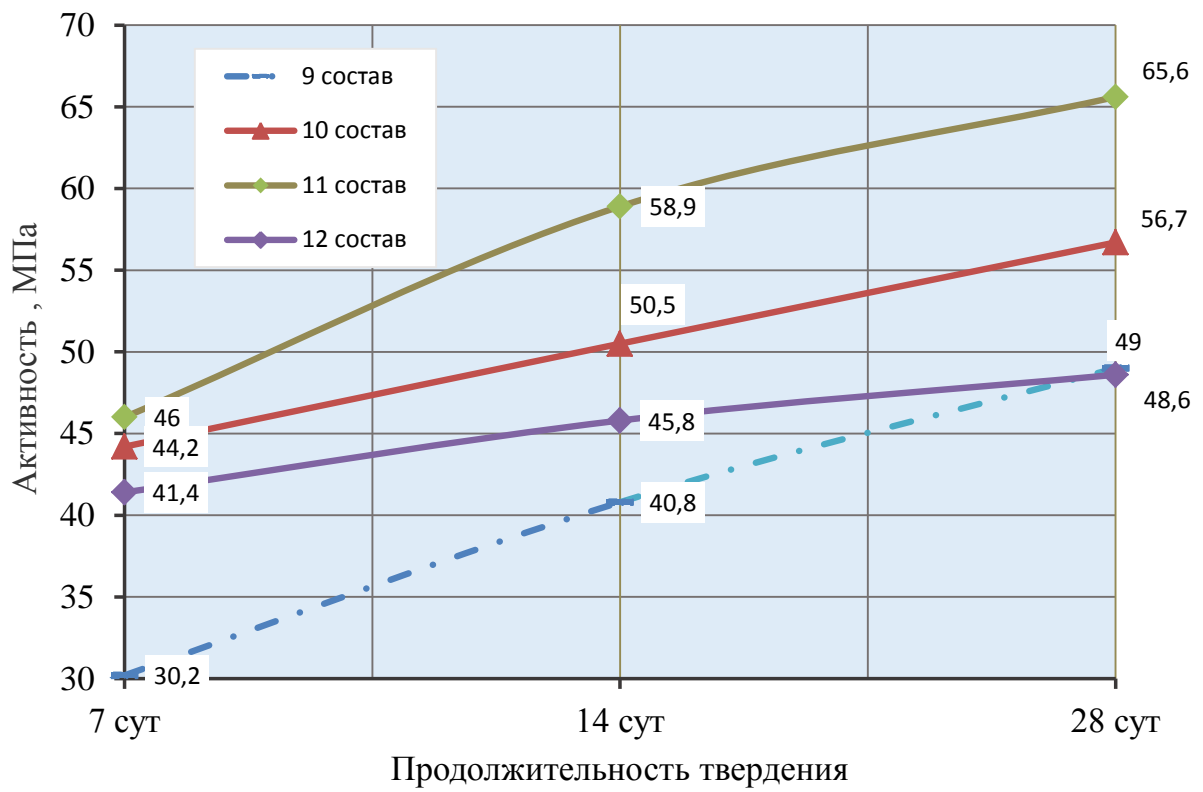


Рисунок 2.17 – График зависимости активности тонкомолотых вяжущих механоактивированных в течение 10 минут от продолжительности твердения

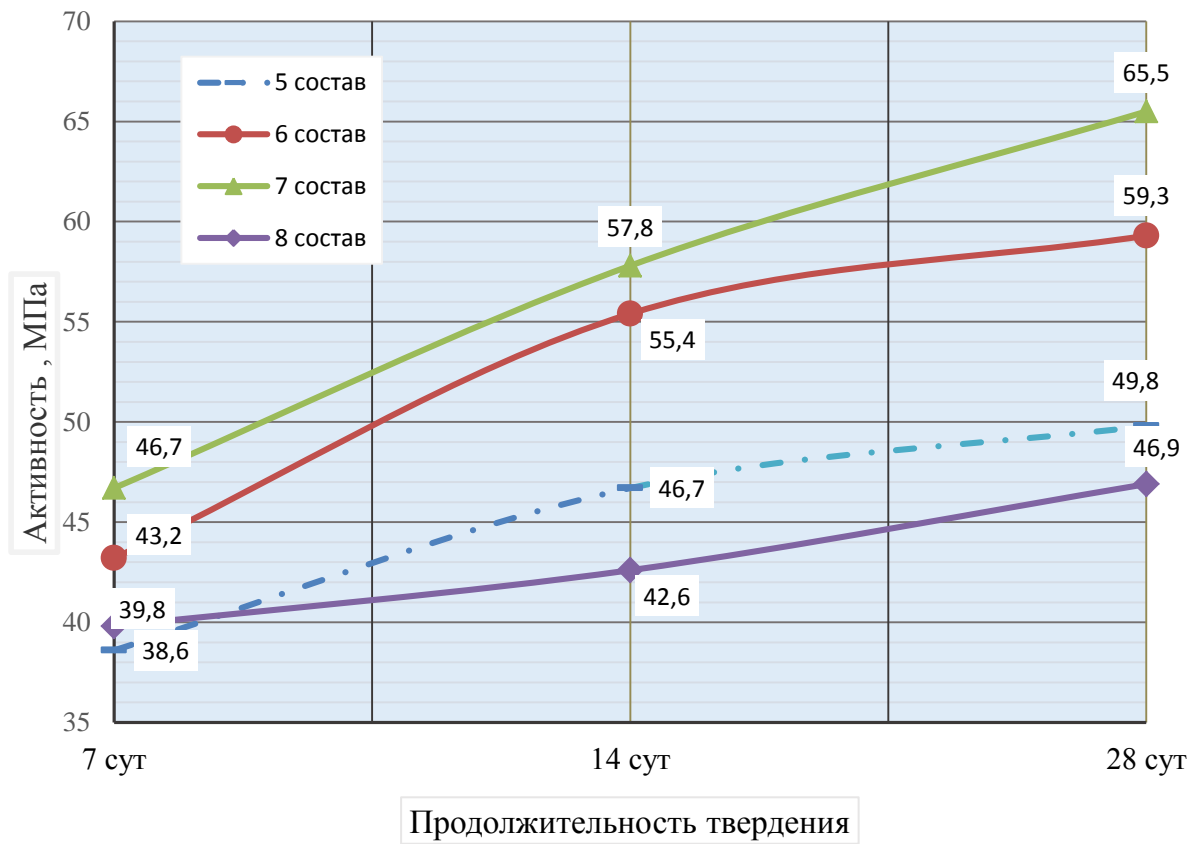


Рисунок 2.18 – График зависимости активности тонкомолотых вяжущих виброактивированных в течение 20 минут от продолжительности твердения

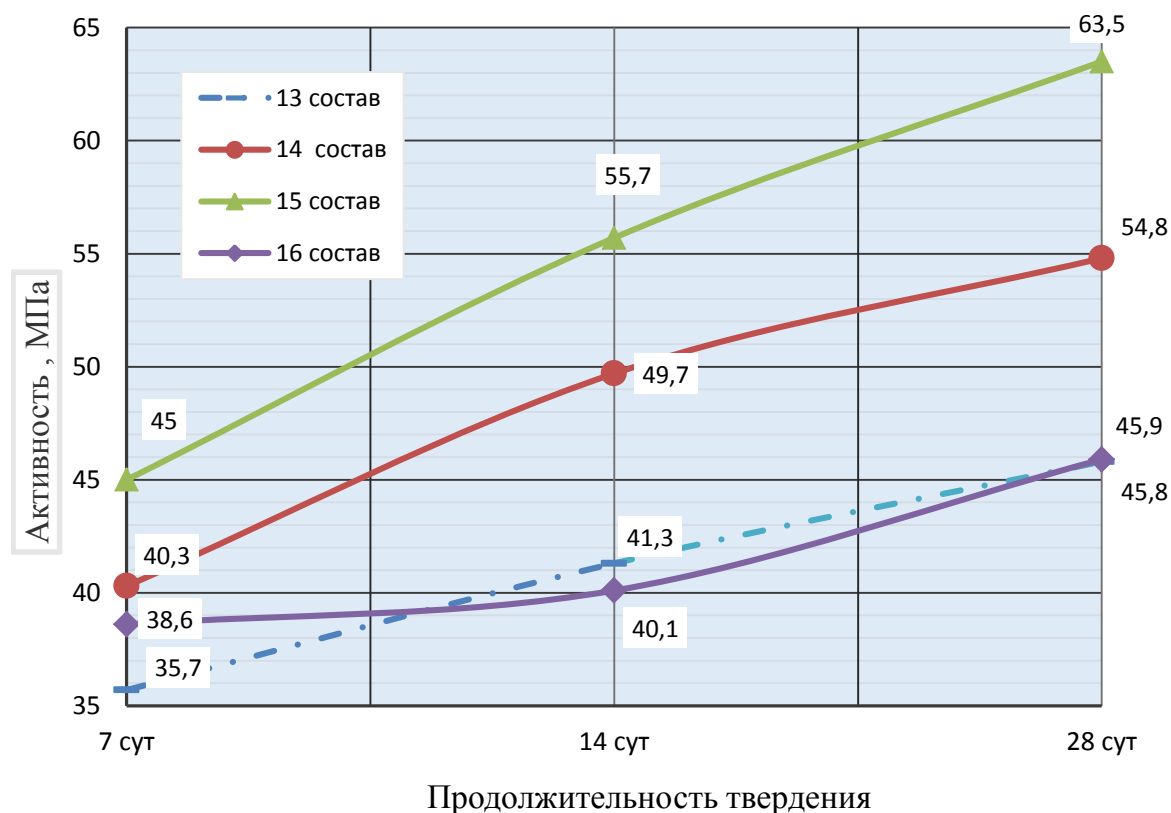


Рисунок 2.19 – График зависимости активности тонкомолотых вяжущих механоактивированных в течение 20 минут от продолжительности твердения

Таким образом, анализ результатов испытаний показал, виброактивация тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков существенно улучшает прочностные показатели композиций. Но в первую очередь нужно заметить, что продолжительность процесса измельчения существенно не сказывается на активности полученных вяжущих. Вибромеханоактивация в течение 20 минут дает показатели активности вяжущих от 45,9 – 65,5 МПа, что меньше значений активности тонкомолотых вяжущих виброактивированных в течение 10 минут 48,6 – 67,2 МПа. Мы можем утверждать, что 10 минутной активации достаточно, для того чтобы



получить хорошие результаты и рационально использовать помольное оборудование.

Так же необходимо отметить, что активация вяжущего в вибромельнице дает результаты по прочности вяжущих и удельной поверхности выше, чем активации в роликовой мельнице. Можно выделить состав № 3 вибромеханоактивированное ТМВ-75 на основе барханных песков с использованием 1,0 % С-3 дает в 28 суточном возрасте прочность 67,2 МПа и является наиболее эффективным составом (рисунок 2.16), к тому же здесь присутствует и экономия клинкерной составляющей портландцемента.

Для определения наиболее эффективного состава тонкомолотых виброактивированных вяжущих на основе барханных песков и выявления аналитической закономерности между прочностью на сжатие ТМВ и основными показателями применялась трехфакторная матрица экспериментального планирования. Выбор этого вида планирования обоснован адекватностью характеристики трехуровневого плана отрезком ряда Тейлора, который содержит линейные и квадратичные члены с переменными. Вычисление коэффициентов уравнения регрессии, среднеквадратичных отклонений и ошибок, среднеарифметическое значение осуществлялось при помощи метода регрессии, а корректировку адекватности этого метода производили при помощи критерия Фишера. Трехуровневый план планирования эксперимента приведен в таблице 2.13.

Таблица 2.13 – Условия планирования эксперимента

Факторы		Уровни варьирования			Интервал
Натуральный вид	Кодовый вид	-1	0	+1	
Содержание наполнителя	X1	15,0	25,0	35,0	10,0
Кол-во С-3	X2	0,5	1,0	1,5	0,5
Удел поверх.	X3	425	480	535	55

Содержание тонкодисперсного наполнителя из барханного песка в качестве компонента ТМВ в эксперименте принято от 15 до 35 %; расход добавки С-3 изменялся в количестве от 0,5 до 1,5 %, этот показатель влияет на водопотребность цементного теста, а удельная поверхность ТМВ находится в пределах от 400 до 600 м<sup>2</sup>/кг.

В результате выполнения и последующего анализа полученных результатов, была установлена математическая модель зависимости прочности тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков ( $R_{ц}$ ) в зависимости от независимых факторов: количества вводимого минерального наполнителя ( $X_1$ ); расход химической добавки С-3 ( $X_2$ ) и удельная поверхность ТМВ ( $X_3$ ) (таблица 2.14).

Таблица 2.14 – Математическая трехуровневая модель

Точки плана, и	Факторы			Натуральное значение			Средне-арифметическое значение активности вяжущего, $Y_{и\text{ ср}}$
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	
1	+1	+1	+1	34,2	32,6	32,8	33,2
2	+1	+1	-1	32,1	33,5	31,5	32,4
3	+1	-1	+1	31,0	32,4	31,6	32,7
4	+1	-1	-1	31,2	32,0	31,3	32,9
5	-1	+1	+1	68,5	69,1	68,7	68,6
6	-1	+1	-1	49,7	46,3	47,2	47,7
7	-1	-1	+1	45,0	42,5	47,5	45,0
8	-1	-1	-1	72,4	72,0	73,1	76,4
9	+1	0	0	54,1	55,0	54,3	32,9
10	-1	0	0	74,5	73,5	74,4	74,1
11	0	+1	0	68,8	69,6	66,3	68,2
12	0	-1	0	70,1	70,3	70,5	64,1
13	0	0	+1	58,4	59,8	56,8	58,3
14	0	0	-1	62,4	62,8	63,1	54,9
15	0	0	0	69,8	69,1	69,4	69,4
16	0	0	0	68,7	68,5	69,3	45,9
17	0	0	0	67,3	67,6	68,5	67,8

Математическая модель уравнения регрессии имеет следующий вид:

$$Y(R_{II}) = 67,2 + -12,5 X_1 + -0,1 X_2 + -1,0 X_3 + -7,3 X_1^2 + -2,3 X_2^2 + -11,1 X_3^2 + 0,4 X_1 X_2 + 0,9 X_1 X_3 + 6,2 X_2 X_3$$

Анализ полученного уравнения регрессии позволил констатировать, что активность ТМВ находится в зависимости содержания вводимого дисперсного минерального порошка, от количества ПАВ и показателя удельной поверхности вяжущего. Так же необходимо заметить, что именно комплексное влияние всех факторов определяет свойства цементного теста и активность тонкомолотого вяжущего. Оптимальное соотношение всех компонентов системы и оказывает решающее влияние на качественные показатели системы. Проведенный эксперимент математического планирования позволил определить оптимальную рецептуру тонкомолотого вяжущего с максимальным значением активности, которая составляет в данном составе 67,2 МПа.

Для подтверждения оптимальной доли наполнения цементной системы барханной добавкой (рисунок 2.20), была установлена зависимость изменения активности тонкомолотых вяжущих от доли введения барханных песков в качестве составляющего вяжущих.

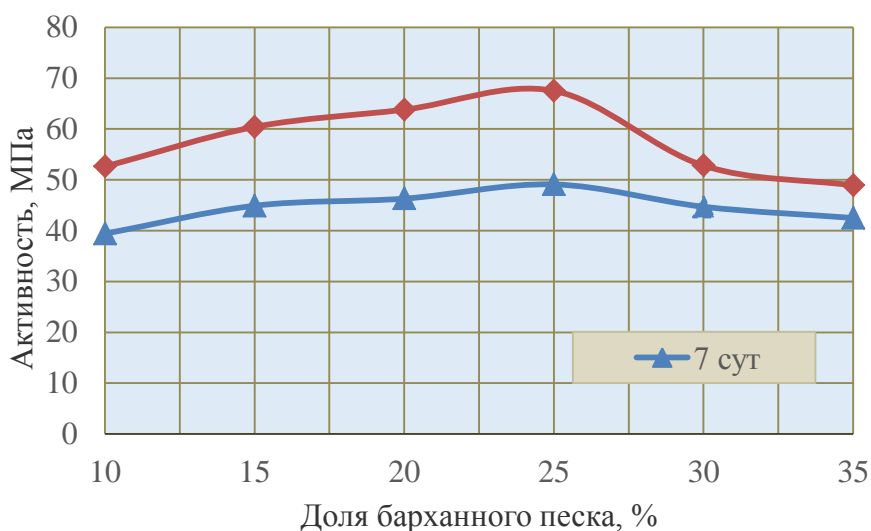


Рисунок 2.20 – График зависимости активности тонкомолотых вяжущих от доли барханных песков

Наиболее эффективной степенью насыщения можно считать 25 % минеральной тонкодисперсной добавки барханных песков.

Предлагаемые вяжущие открывают новое направление в технологии ремонтного бетона, реализуют значительные резервы экономии цемента, повышают прочностные характеристики, улучшают эксплуатационные свойства и повышают эффективность использования барханных песков. На рисунке 2.21 приводится разработанная схема производства тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков.

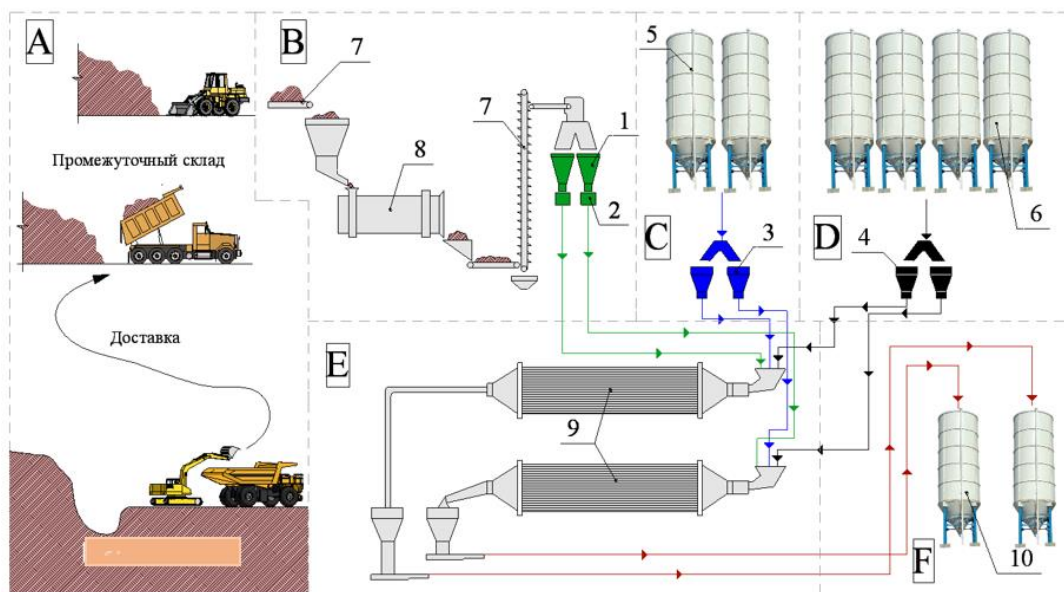


Рисунок 2.21 – Схема производства виброактивированных тонкомолотых вяжущих ТМВ-75: А – подготовка сырья; В – сушка и дозирование барханного песка; С – подача добавки; D – подача цемента и С-3; Е – совместный помол; F – хранение тонкомолотых вяжущих; 1 – расходный бункер; 2 – дозатор сырья для микронаполнителя; 3 – дозатор добавки; 4 – дозатор цемента; 5 – силосы добавок; 6 – силосы цемента; 7 – транспортеры для барханного песка; 8 – сушильный барабан; 9 – вибромельница; 10 – силосы тонкомолотых вяжущих.

## **2.5 Исследование влияния наполнителей из барханных песков на процессы структурообразования цементного камня**

Процесс структурообразования цементного камня состоит из нескольких этапов. Сразу после затворения цементной системы водой, в результате реакций гидролиза и гидратации трехкальциевого силиката, из насыщенного ионами кальция раствора образуются гелеобразные соединения гидроксида кальция и волокна этtringита. Начальный этап характеризуется тем, что в процессе реакций гидратации основного минерала клинкера на его поверхности наблюдается кристаллизация этtringита, что способствует формированию сольватной пленки, которая состоит из микроскопических кристаллов гидросульфоалюмината кальция, и обладает высокой степенью дисперсности и существенной экранирующей способностью. Отмечается замедление процесса гидратации клинкерных минералов портландцементного клинкера, но постепенно происходит образование соединений гидросиликатов кальция. На этом этапе наблюдается уменьшение подвижности коагуляционной структуры цементной системы и происходит это в результате появления сольватных пленок на зернах клинкерных минералов, возникновения Ван-дер-Вальсовых сил и ускоренного образования флокул. В завершение этого этапа формируются пространственные связи между продуктами гидратации, образуя первичный рыхлый каркас, который со временем заполняется гидратными новообразованиями.

И следующий период характеризуется интенсивным процессом кристаллизации гидроксида кальция, гидросульфоалюминатов кальция и гидросиликатов кальция. Первоначальная пористая матрица в результате рекристаллизации первичной структуры упрочняется, уплотняется и кристаллизуется. Так протекают процессы формирования структуры ненаполненной цементной системы, но введение в систему тонкодисперсных наполнителей из барханных песков существенно меняет

структурообразование цементного камня.

Введение в состав цементной системы вибромеханоактивированного барханного песка является источником резервного количества влаги, адсорбированной на частицах добавки. Это дополнительное количество воды будет содействовать реакциям гидратации составляющих портландцемента. Тонкодисперсные порошки раздвигают свободные пространства между частичками портландцемента за счет «эффекта мелких порошков» [41, 47, 102, 106], и способствуют кристаллизации новообразований, в результате процесс твердения, вяжущего ускоряется.

Таким образом, именно частицы тонкодисперсных добавок являются надежными подложками для образования гидратных новообразований, Двухмерные зародыши кристаллогидратов надежно фиксируются на поверхности минеральных порошков и интенсифицируют структурообразование цементного камня.

Следовательно, вводимая в цементную систему минеральная дисперсная добавка активно участвует на всех стадиях формирования структуры и роль ее будет комплексной: она положительно влияет на структурообразующие процессы, что повышает степень гидратации вяжущего, на показателях порового пространства и на свойствах затвердевшего бетона.

Продолжительность формирования структуры цементного камня на ранней стадии твердения зависит от химического и минералогического составов портландцемента, водоцементного отношения, вида и степени наполнения системы дисперсными добавками, условий твердения бетона, химических добавок и т.д. [75, 92, 93, 131, 138]

Период формирования структуры определялся ультразвуковым методом и способом по изменению температуры смеси. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 2.15., рисунки 2.22, 2.23.

Полученные данные показали, что при увеличении количества минеральной добавки сроки схватывания существенно не изменялись бы, но использование полученных вибромеханоактивированных тонкомолотых

вяжущих на основе барханных песков в комплексе с ПАВ С-3 существенно замедляют период формирования структуры на несколько часов.

Таблица 2.15 – Определение периода формирования структуры по срокам схватывания

№ состава	Наименование вяжущего	Сроки схватывания, часы-минуты		
		УЗК метод	По изменению температуры	
			начало	начало
виброактивация 10 минут				
1	ПЦ ( $S_{уд} = 420 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	2:11	2:17	7:12
2	ТМВ-85 ( $S_{уд} = 454 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:12	4:16	9:03
3	ТМВ-75 ( $S_{уд} = 485 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:30	4:34	9:33
4	ТМВ-65 ( $S_{уд} = 476 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	5:30	5:36	9:58
виброактивация 20 минут				
5	ПЦ ( $S_{уд} = 525 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	2:00	2:10	7:04
6	ТМВ-85 ( $S_{уд} = 564 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:09	4:17	8:47
7	ТМВ-75 ( $S_{уд} = 597 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:21	4:30	9:23
8	ТМВ-65 ( $S_{уд} = 585 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	5:26	5:06	8:50
механоактивация 10 минут				
9	ПЦ ( $S_{уд} = 412 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	2:15	2:23	7:22
10	ТМВ-85 ( $S_{уд} = 448 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:08	4:12	8:54
11	ТМВ-75 ( $S_{уд} = 475 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:25	4:27	9:25
12	ТМВ-65 ( $S_{уд} = 469 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	5:28	5:25	9:55
механоактивация 20 минут				
13	ПЦ ( $S_{уд} = 520 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	2:10	2:18	7:00
14	ТМВ-85 ( $S_{уд} = 558 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:02	4:10	8:45
15	ТМВ-75 ( $S_{уд} = 586 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	4:15	4:20	9:20
16	ТМВ-65 ( $S_{уд} = 578 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	5:20	5:23	9:46

Процесс формирования структуры в исследуемых композициях можно представить следующими 2 этапами:

1. На первом этапе происходит образование первичного гидросульфатоалюминатокальциевого каркаса, для которого и характерно резкое снижение скорости ультразвука и повышение температуры формовочной смеси, из-за протекания гидратационных процессов в системе,

свободная вода переходит в пленочное состояние, а это приводит к тому, что частички гидратирующего цемента сближаются, а объем твердой фазы увеличивается.

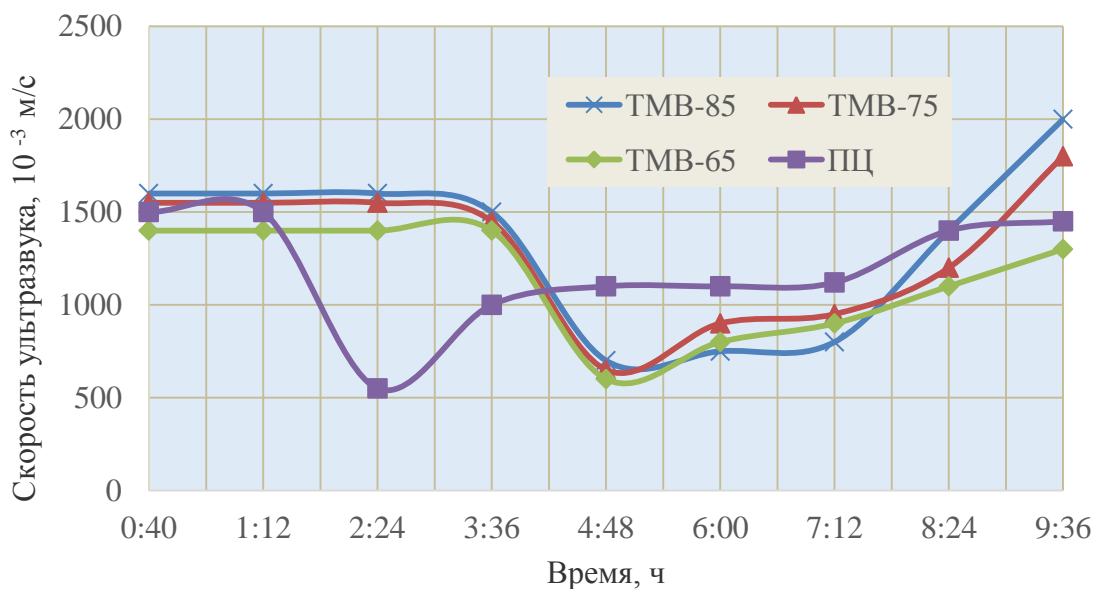


Рисунок 2.22– Влияние активированного ТМВ на скорость прохождения ультразвука

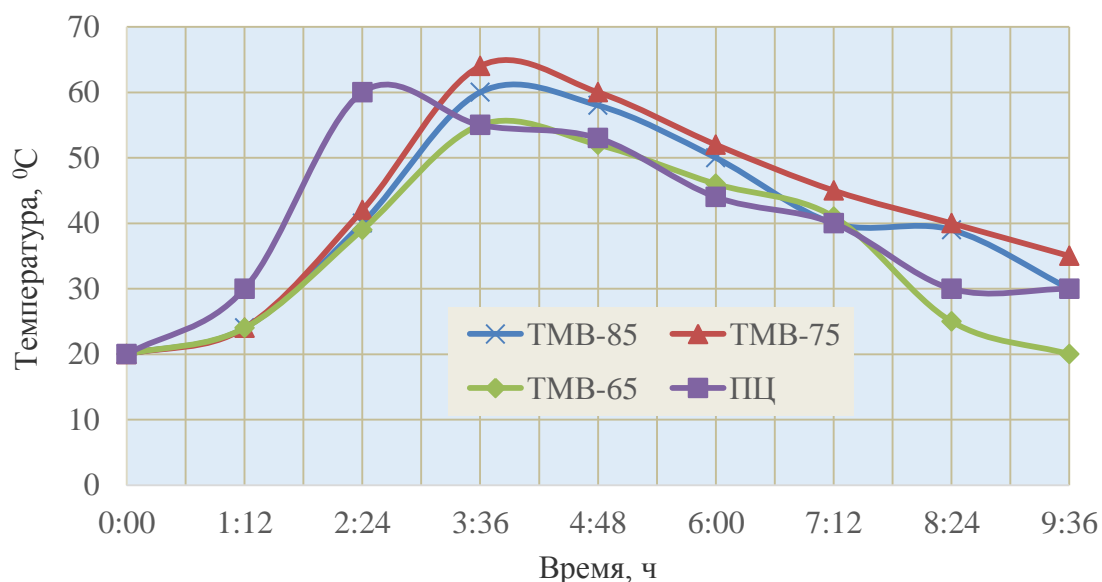


Рисунок 2.23 – Влияние активированного ТМВ на динамику изменения температуры

2. На втором этапе процесс гидратации ускоряется, наблюдается



интенсивная кинетика набора прочности с образованием прочного гидросиликатокальциевого каркаса, при этом нужно отметить, оптимальное количество вводимой минеральной добавки, способствует протеканию химических реакций с формированием гидросиликатов и гидроалюминатов кальция различной основности.

## **2.6 Исследование влияния барханного песка на процессы структурообразования щелочного цементного камня**

Разработка новой эффективной технологии для ремонта и восстановления бетонных и железобетонных конструкций является важной проблемой проводимых исследований, поэтому барханные некондиционные мелкие пески благодаря своей алюмосиликатной природе использовались в качестве компонента для создания бесклинкерных вяжущих ремонтных связок «барханный песок – щелочной активатор». Заранее приготовленный тонкодисперсный порошок из барханного песка с удельной поверхностью  $610 \text{ м}^2/\text{кг}$  затворяли водным раствором натриевого жидкого стекла. Заполнитель использовали фракционированный, полученный обогащением отсеков дробления (60 %) барханными песками (40 %). Полученные образцы в возрасте 28 суточного твердения из вяжущей связки «барханный песок – щелочной активатор» изучали с помощью электронно-зондовых исследований, на растровом электронном микроскопе VEGA II LMU на дифрактометре «ARLX'TRA». Микрофотографии образцов цементного камня характеризуется тонкой кристаллической структурой (рисунок 2.24 а), которой присуще агрегативное распределение частиц (рисунок 2.24 б), в некоторых частях обнаружены переходы в массивную скрытую кристаллическую массу (рисунок 2.24 в).

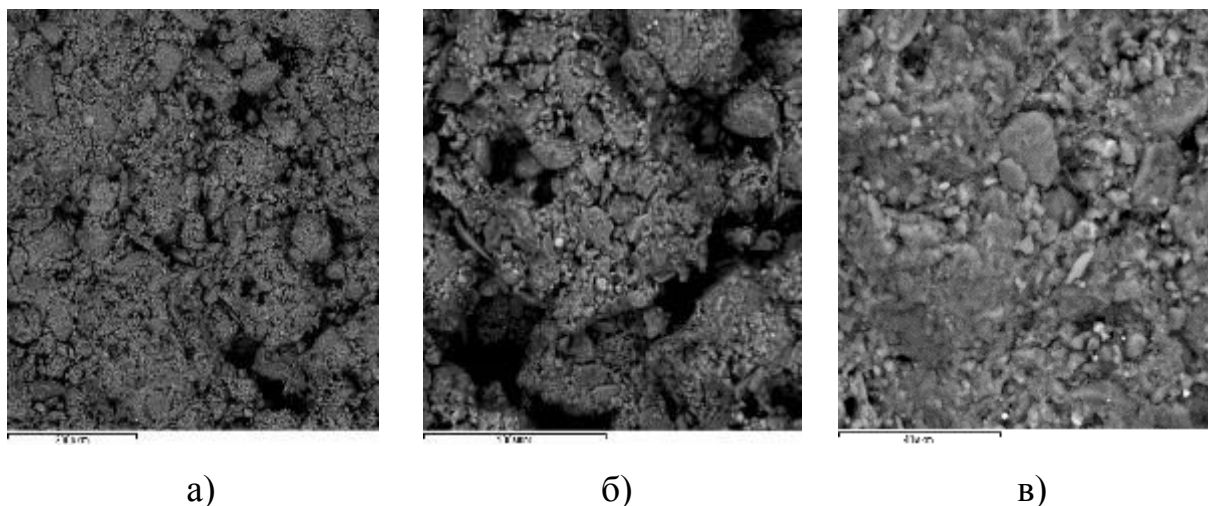


Рисунок 2.24 – Микростроение цементного камня БВЦА на основе барханных песков

Результаты рентгенофазового структурного анализа показали, что в составе продуктов химического взаимодействия присутствуют такие основные фазовые компоненты минералов как кварц, плагиоклаз, слюда, кальцит и цеолит (рисунок 2.25).

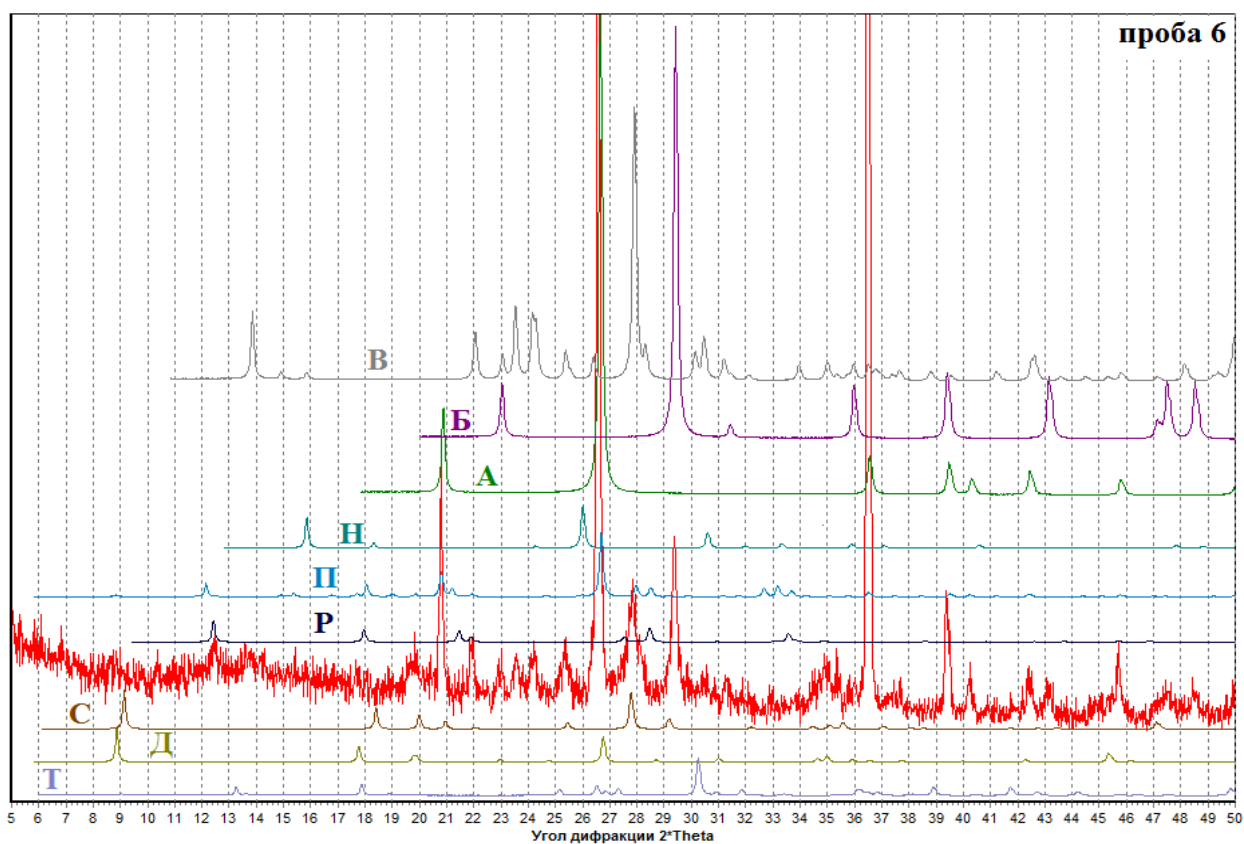


Рисунок 2.25 – Дифрактограмма образца щелочного цементного камня на основе барханных песков: А – кварц, Б – кальцит, В – альбит, Д – мусковит, Н - анальцим, Р – гарронит, С - парагонит, Т - фошагит

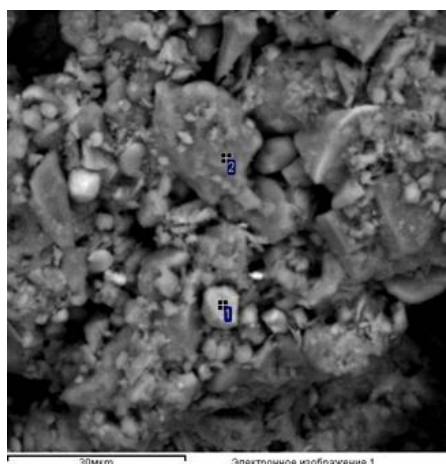
Показатели расположения межплоскостных расстояний минерала слюды, характеризуются смещением в более высокоугловую область, что указывает на принадлежность к ряду минерала мусковита – параганиту. Электронно-зондовые микроисследования чешуек слюды выявили их нестабильный переменный состав и повсеместное наличие щелочных металлов.

Цеолитовая фаза по кристаллоструктурным показателям наиболее близка к гаррониту (или тетрагональной фазе  $\text{Na}_{3,6}\text{Al}_{3,6}\text{Si}_{12,4}\text{O}_{32} \cdot 14\text{H}_2\text{O}$  ( $d - 7.10(010), 3.16(301)$ ); в районе  $\sim 26^\circ$  ( $d \sim 3,424$ ) присутствует небольшая флуктуация, соответствующая яркому пику анальцима, что позволяет предполагать его наличие в очень незначительном количестве.

Главными структурообразующими фазами выступают гидраты натриевых алюмосиликатов кальция (обычно содержащих калий и железо) (рисунки 2.26 – 2.28, табл. 2.16 – 2.18), среди которых отмечаются тонкочешуйчатые слюдистые (серицитовые) агрегаты.

Таблица 2.16 – Состав основных фаз, в вес. %  
(места анализа указаны на рисунке. 2.21)

Спектр	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Итого
1	5.59	3.67	11.37	38.52	1.18	0.82	0.59	5.08	25.20	92.01
2	1.08	4.70	29.02	46.22	7.19	0.00	0.00	0.00	4.82	93.02



Спектр EDX

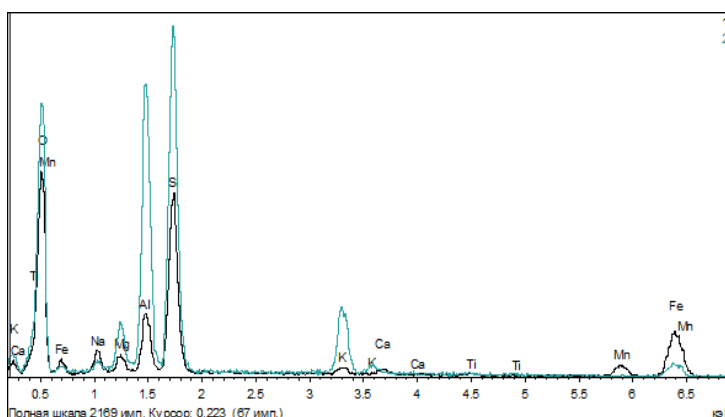
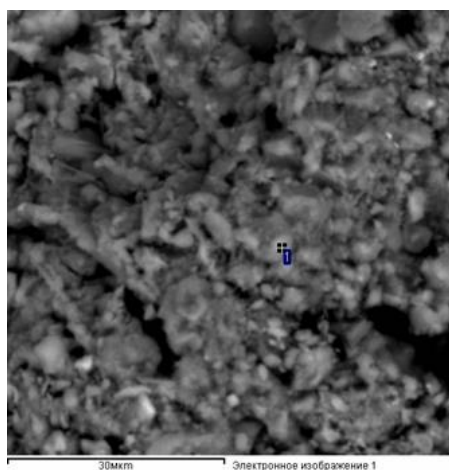


Рисунок 2.26 – Гидраты алюмосиликатов кальция основной массы

Таблица 2.17 – Состав основных фаз (гидрат силиката кальция),  
в вес. % (места анализа указаны на рисунке 2.22)

Спектр	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	FeO	Итог
1	4.11	1.98	4.14	24.38	53.02	1.70	89.33



Спектр EDX

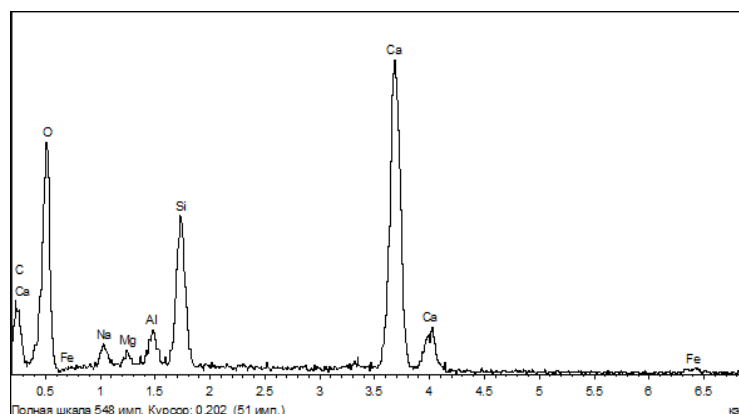
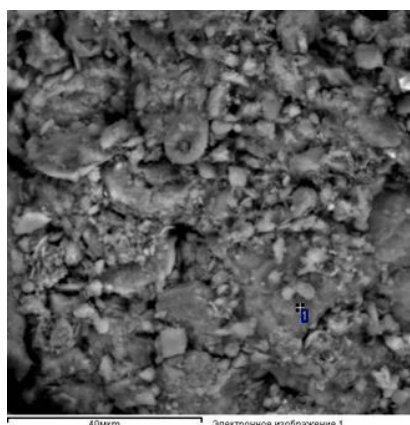


Рисунок 2.27 – Гидраты силикатов кальция основной массы

Таблица 2.18 – Состав слюдяного агрегата, в вес. %  
(места анализа указаны на рисунке 2.23)

Спектр	Na <sub>2</sub> O	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	TiO <sub>2</sub>	MnO	FeO	Итог
1	2.55	1.23	32.90	49.97	7.44	0.23	1.05	1.00	1.45	97.82



Спектр EDX

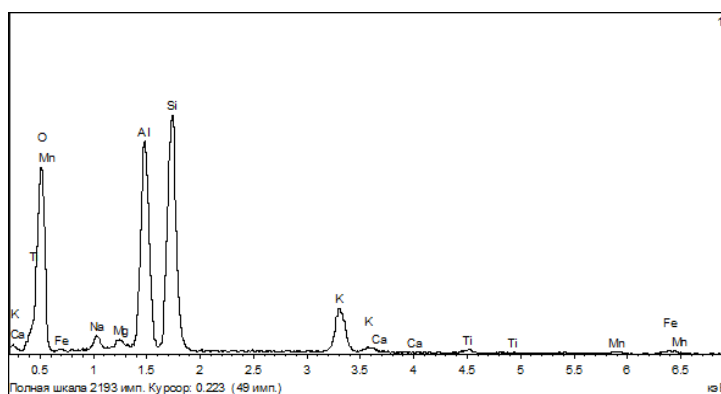


Рисунок 2.28 – Слюдястый агрегат

Полученные результаты рентгенофазового анализа и электро-зондовых исследований щелочного цементного камня с использованием бесклинкерной вяжущей связки «барханный песок – жидкое стекло» подтвердили возможность получения эффективного состава для ремонтных работ, так как продуктами взаимодействия исследуемой системы являются гидратные соединения типа натриевых алюмосиликатов кальция - цеолитов, кварц, плагиоклаз, слюда, кальцит. Электронно-зондовые исследования чешуек слюды носят переменный состав с постоянным присутствием натрия. Новообразования типа цеолиты по кристаллоструктурным показателям наиболее близки к гаррониту, среди гидратов натриевых алюмосиликатов кальция отмечаются тонкочешуйчатые слюдистые (серицитовые) агрегаты.

Таким образом, рассмотрена возможность применения барханных песков алюмосиликатной природы в качестве компонента бесклинкерных вяжущих связок «барханный песок – щелочной активатор», результаты электронно-зондовых и рентгенофазовых исследований подтвердили образования гидратных соединений типа натриевых алюмосиликатов кальция - цеолитов, кварца, плагиоклаза, слюды, позволяющие получать эффективные ремонтные составы.

## **2.7 Исследование влияния наполнителей из барханного песка на свойства цементного камня**

Многочисленными исследованиями подтверждено [75, 81, 161, 167], что свойства цементного камня зависят в первую очередь от его структуры, которая определяется такими показателями, как плотность, пористость и водопоглощение как по массе, так и по объему. Основоположником теории зависимости прочностных показателей бетонного композита от относительной плотности был Фере, а профессор И.Г. Малюга развил эту гипотезу и, установил, что прочностные характеристики находятся во взаимосвязи с водоцементным отношением, и назвал теорию законом водоцементного отношения.

Более поздними исследованиями [50, 123, 130, 139] установлено несколько выражений, описывающих структуру цементного камня, которые можно представить:

$$\sigma = \sigma_0 (1 - П)^4;$$

$$\sigma = \sigma_0 \cdot e^{-ВП};$$

$$\sigma = Д \cdot \ln (П_0/П),$$

где  $\sigma_0$  - прочность при нулевой пористости;

$П$  - пористость;

$П_0$  - пористость при нулевой прочности;

$A, B, Д$  - константы.

Анализируя вышеприведенные выражения, можно отметить, что пористость и прочность находятся в обратно пропорциональной зависимости: если повышается пористость композита на 1 %, прочность его снизится на 5–8%. Следовательно, закон водоцементного отношения является следствием зависимости прочностных показателей от пористости: с повышением В/Ц растет поровое пространство композита и уменьшается его прочность.

Проектируя составы бетонов, мы стремимся получать прочные и долговечные композиты, но нужно учитывать, что не только пористость будет на это влиять, необходимо отмечать и другие факторы. От минералогического состава портландцементного клинкера зависит формирование свойств цементного камня, даже если в материалах один и тот же объем пор, прочностные характеристики будут различны, если строение пор окажется разным.

Классификация пор цементного камня по Г.И. Горчакову [75], доказывает, что вопрос о поровом пространстве материала довольно сложный, поры можно разделить на следующие группы:

– капиллярные поры размером от  $1 \cdot 10^{-4}$  до  $50 \cdot 10^{-4}$  см, образуемые капиллярной испаряющейся водой, имеющей с материалом физико-механическую связь. Эти поры являются основным дефектом строения плотно уложенного бетона;

– контракционные поры появляются в результате уменьшения объема цементной системы в результате твердения. По размеру эти поры находятся между порами геля и капиллярными;

– гелевые поры размером от 15 до 40 Å образованы испаряющейся водой, адсорбционно связанной в гидратных оболочках частиц геля, и расположены в агрегатах частиц цементного геля.

Исследование порового пространства цементного камня с использованием тонкомолотых виброактивированных в течение 10 и 20 минут вяжущих на основе барханных песков осуществляли методом ртутной порометрии, результаты испытаний представлены в таблице 2.19. Водопоглощение цементного камня характеризует способность впитывать и удерживать в порах воду. Вода заполняет открытые поры, поэтому по водопоглощению можно судить об открытой пористости материала.

Анализируя результаты исследований, необходимо отметить, что по сравнению с ненаполненным вяжущим в тонкомолотых наблюдается 4-5 кратное снижение количества пор с радиусом больше 1 мкм, на порядок уменьшилось количество капиллярных пор радиусом 1-0,1 мкм, появляется сдвиг радиуса пор в сторону мельчайших капилляров. Суммарный объем пор цементного камня на ТМВ примерно в 2 раза меньше по сравнению с объемом пор ненаполненного виброактивированного портландцемента.

Таблица 2.19 – Суммарный объем пор и распределение их по размерам

Наименование вяжущего	НГ, %	Водопоглощение, %	Пористость, см <sup>3</sup> /г	Радиус пор, мкм и их содержание, см <sup>3</sup> /г			
				более 1	1-0,1	0,1-0,01	0,01-0,001
<b>Виброактивация в течение 10 минут</b>							
Щ	27,5	12,6	0,122	0,0093	0,0692	0,0319	0,0116
ТМВ-85	18	6,4	0,0636	0,0018	0,0023	0,0463	0,0132
ТМВ-75	19,1	6,0	0,0597	0,0014	0,0020	0,0443	0,0120

ТМВ-65	20,3	10,1	0,1010	0,0100	0,0524	0,0268	0,0118
Виброактивация в течение 20 минут							
ПЦ	29,6	13,6	0,134	0,0098	0,0699	0,0321	0,0119
ТМВ-85	20,8	6,8	0,0647	0,0020	0,0028	0,0468	0,0135
ТМВ-75	22,1	6,3	0,0604	0,0017	0,0026	0,0445	0,0123
ТМВ-65	23,5	11,3	0,1016	0,0110	0,0531	0,0272	0,0124

Исследование цементного камня с применением тонкомолотого подвергнутого виброактивации в течение 10 минут вяжущего со степенью наполнения 25 % барханных песков осуществлялось на растровом электронном микроскопе Quanta 3D 200 i с интегрированной системой микроанализа Genesis Apex 2 EDS от EDAX (рисунок 2.29).

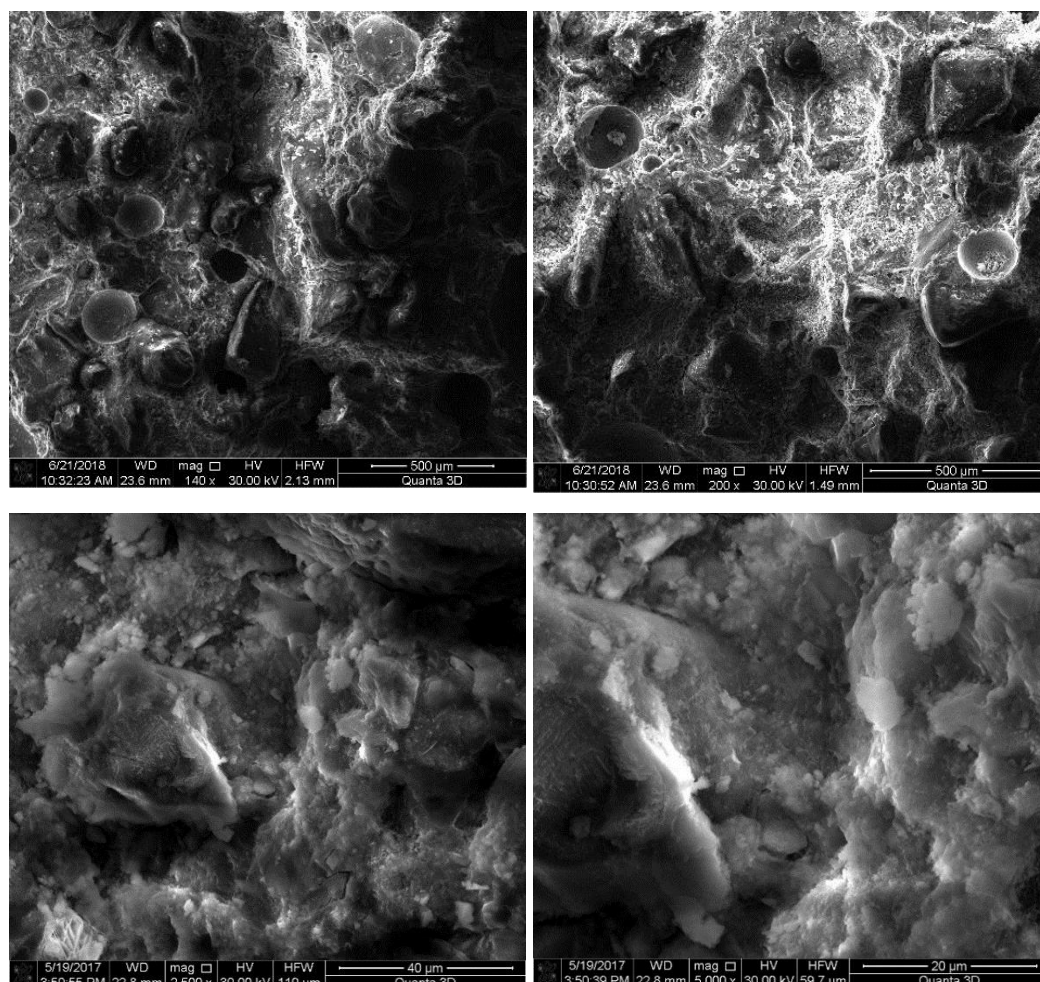


Рисунок 2.29 – Микрофотографии исследования цементного камня на виброактивированном ТМВ-75 при различном увеличении



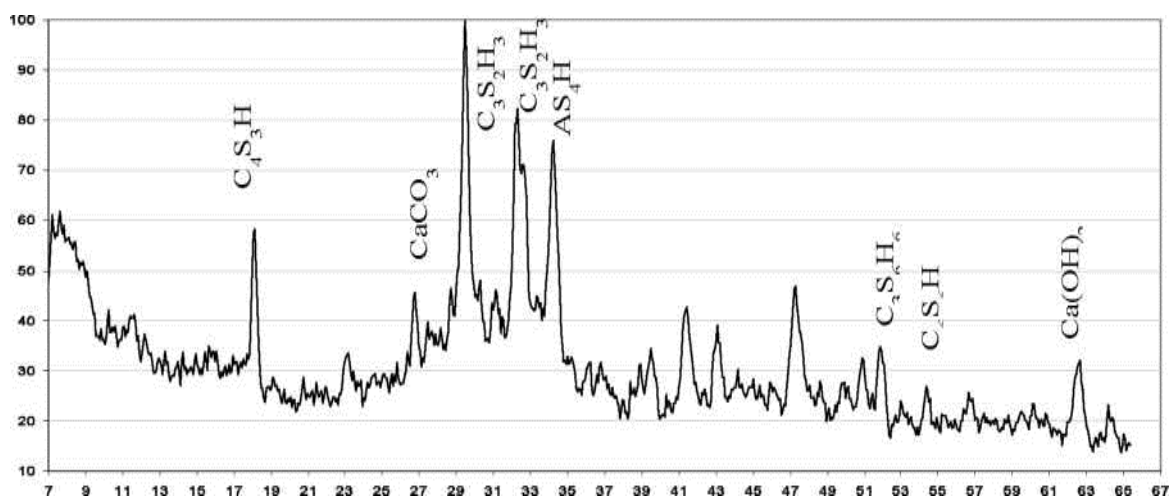
Было выявлено, что полученный образец обладает более плотной упаковкой гидратов и соединений в цементном камне. Это обусловлено присутствием мельчайших прослоек воды между зернами новообразований и характерное формирование низкоосновных гидросиликатов в стесненном объеме. Можно отметить в зонах микротрещин и дислокаций избирательное точечное расположение, а не эффект «припудривания» частиц поверхностно-активного вещества на зернах цемента. Именно это и является причиной того, что количество ПАВ для получения ТМВ составляет совсем незначительную величину от общей суммарной поверхности частиц портландцемента.

Такое расположение поверхностно-активного вещества на поверхностных слоях цемента и способствует увеличению сроков схватывания тонкомолотых вяжущих. Можно отметить, что процесс взаимодействия предлагаемых вяжущих с водой начинается значительно позже именно потому, что поверхность клинкерных минералов защищена ПАВ и воде нужно какое-то время, чтобы проникнуть к микротрещинам и дефектам. Поверхность клинкерных минералов, которая не имеет этих микротрещин, в реакцию с водой вступает значительно медленнее. Но в активированном совместно с минеральным компонентом портландцементе процесс растворения частичек ПАВ и взаимодействия воды с клинкерным зерном резко ускоряется. Это и является объяснением существенному снижению водопотребности ТМВ-75, нормальная густота которых может достигать минимальных значений 15-17%.

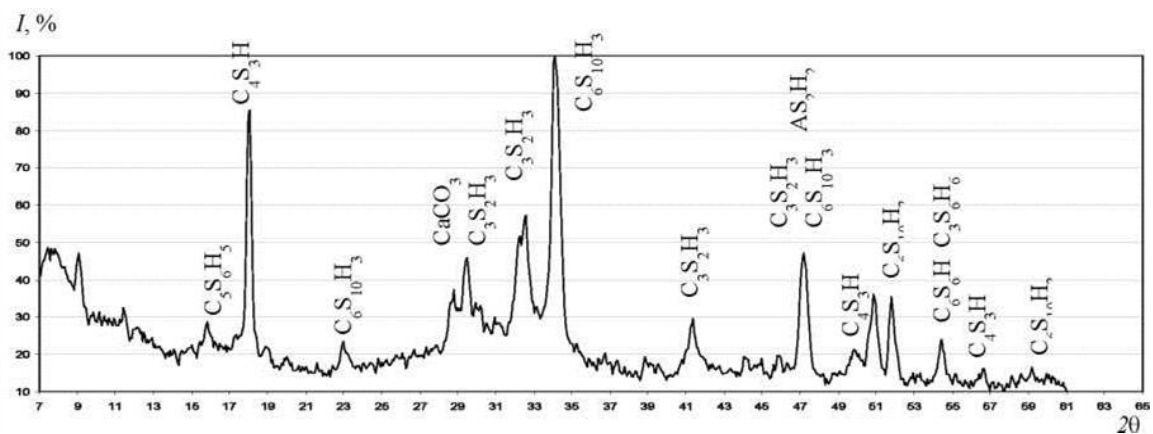
Влияние виброактивированного тонкомолотого вяжущего на процессы структурообразования исследовалось с помощью рентгенофазового анализа, результаты полученных испытаний представлены на рисунках 2.30.

Исследование РФА подтверждает новообразования в виде кристаллических фаз в цементном камне на контрольном образце. У образцов с использованием виброактивированного ТМВ-75 на рентгенограмме выявлены дополнительная порция пиков низкоосновных

гидросиликатов кальция, которые по своей структуре сходны с минералом афвиллит  $C_3S_2H_3$  (1,924; 2,44 Å), фошагит  $C_4S_3H$  (1,82; 1,55 Å), к тому же присутствуют пики тоберморитоподобных гидросиликатов кальция  $C_5S_6H_5$  (5,6; 1,83 Å) и минералов гиролитовой группы трукоттит  $C_6S_{10}H_3$  (3,8; 2,63; 1,921; 1,762; 1,557 Å), гидрокарбосульфоалюмината кальция. Появления такого количества труднорастворимых соединений обусловлено, связыванием портландита минерал-группами барханного песка, что, конечно же, положительно отразится на свойствах цементного камня.



а)



б)

Рисунок 2.30 – Результаты рентгенофазового анализа контрольного образца (а) и образца на виброактивированном ТМВ-75 (б)

Исследование водоудерживающей способности проводили по определению водоотделению цементного теста тонкомолотых вяжущих на

основе барханных песков, так как этот параметр характеризует негативную форму седиментации, при которой определенное количество воды из смеси затворенного вяжущего стремится подняться на поверхность бетонной смеси. Расслоению способствует невозможность частицами вяжущего при их осаждении удерживания всей воды затворения. Паузере характеризует процесс водоотделения, влияющий на расслоение смеси, который можно вычислить количественно как суммарное осаждение на единицу толщины бетона.

Водоотделение смеси приводит к тому, что поверхность верхнего слоя цементного камня окажется достаточно влажной и последующие слои бетона будут пористыми, слабыми и недолговечными. Если отделяющаяся вода вновь перемешивается при окончательной обработке поверхности верхнего слоя, то образуется недолговечная поверхность. Для того чтобы предотвратить это явление необходимо не делать окончательной отделки изделий пока не испарится отделившаяся вода, желательно пользоваться деревянными мастерками при отделке поверхности. Если же вода испаряется с поверхности значительно быстрее, чем заканчивается процесс водоотделения, то это приведет к растрескиванию цементного камня и пластической усадке. В соответствии с ГОСТ 310.6-85 проводились исследования водоотделения виброактивированных тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков результаты показаны в таблице 2.20 на рисунке 2.31.

Таблица 2.20 – Исследование водоотделения тонкомолотых вяжущих

Наименование вяжущего	НГ, %	Водопоглощение, %	Первоначальный объем цементного теста $V_1, \text{см}^3$	Объем осевшего ТМВ $V_2, \text{см}^3$	Коэффициент водоотделения (объемный) $K_B, \%$
Виброактивация в течение 10 минут					
ПЦ	27,5	12,6	380	313	17,6

ТМВ-85	18	6,4	380	315	17,1
ТМВ-75	19,1	6,0	380	317	16,5
ТМВ-65	20,3	10,1	380	310	18,4
Виброактивация в течение 20 минут					
ПЦ	29,6	13,6	380	309	18,6
ТМВ-85	20,8	6,8	380	313	17,6
ТМВ-75	22,1	6,3	380	312	17,8
ТМВ-65	23,5	11,3	380	308	18,9

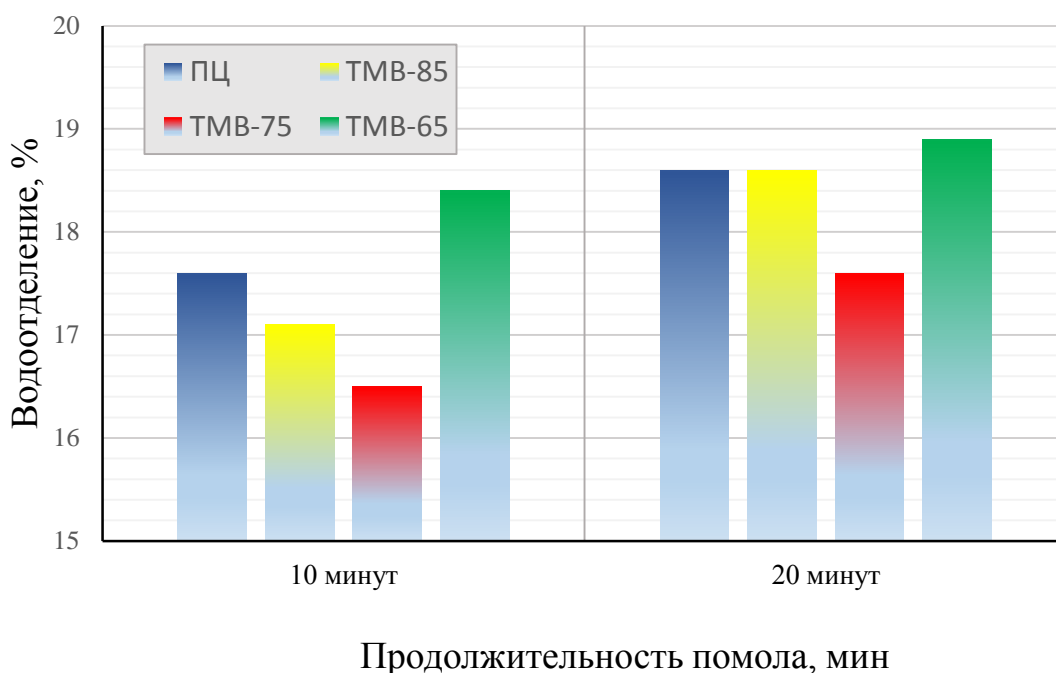


Рисунок 2.31 – Зависимость изменения водоотделения ТМВ от степени наполнения и продолжительности вибромеханоактивации

Результаты исследований показали, что вибромеханоактивация вяжущих положительно сказывается на седиментационных процессах цементного теста, мы наблюдаем снижение водоотделения в наполненных системах. Но продолжительность активации способствует повышению этого показателя, при 20 минутах измельчения, вяжущие увеличивают значения водоотделения, поэтому целесообразней механоактивация 10 минут.

Наиболее минимальные показатели водоотделения мы отмечаем у тонкомолотых вяжущих со степенью наполнения 75 : 25 %. Вероятно, это

обусловлено тем, что тонкодисперсная минеральная добавка барханного песка при такой степени наполнения имеет самые выгодные условия для оседания и удерживания всей воды затворения, что в дальнейшем отразится на свойствах мелкозернистого бетона.

Таким образом, использование предлагаемых виброактивированных тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков дает нам перспективу получать эффективные ремонтные модифицированные составы из мелкозернистых бетонов с классом прочности от В40 до В60, за счет снижения водопотребности бетонной смеси, при этом показатели удобоукладываемости не изменяются, улучшения физико-механических свойств и при помощи химических модификаторов мы сможем регулировать процессом формирования структуры бетонного композита.

## **ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ**

1. Исследованы барханные пески Чеченской Республики, приведены сведения географического расположения, процесса происхождения и объемов запасов данных песков. Изучен минералогический, химический и гранулометрический составы барханных песков. Исследованы основные физико-механические свойства, характеризующие исследуемые пески как эффективный компонент для разработки ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона;

2. Исследована степень дисперсности барханных песков в зависимости от вида помольного оборудования, для активации применялись вибрационная шаровая МВ-20 с объемом рабочей емкости 20 л и роликовая лабораторная ЛМР-15 с загрузкой до 15 л мельницы. Установлено, что виброактивация барханных песков для получения тонкодисперсного наполнителя эффективней механоактивации и способствует увеличению степени дисперсности тонкомолотых вяжущих, что весьма важно для повышения адгезии ремонтных составов;

3. Разработаны рецептуры активированных тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков и выявлено, что применение вибромеханохимической активации барханных песков совместно с портландцементом и ПАВ, способствует превращению барханных песков в высокоактивные тонкодисперсные минеральные компоненты, которые оказывают влияние на физико-химические процессы структурообразования на поверхности раздела фаз пластифицированных цементных систем с пониженной водопотребностью, что важно при проектировании ремонтно-восстановительных работ;

3. Методом математического планирования эксперимента проведено прогнозирование свойств разработанных рецептур тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков. Была определена наиболее оптимальная рецептура исследуемых вяжущих это ТМВ-75 с виброактивацией в течение 10 минут;

4. Исследовано влияние тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков на процессы структурообразования цементного камня, установлено что при увеличении количества минеральной добавки сроки схватывания существенно не изменяются, но использование полученных вибромеханоактивированных тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков в комплексе с ПАВ С-3 существенно замедляют период формирования структуры на несколько часов;

5. Изучено влияние наполнителей из барханных песков на водопоглощение и пористость цементного камня. Суммарный объем пор цементного камня на ТМВ примерно в 2 раза меньше по сравнению с объемом пор ненаполненного виброактивированного портландцемента. Водопоглощение цементного камня и водоотделение цементного теста с использованием тонкомолотого вяжущего ТМВ-75 так же значительно ниже в сравнении с другими составами.

6. Рассмотрена возможность применения барханных песков алюмосиликатной природы в качестве компонента бесклинкерных вяжущих

связок «барханный песок – щелочной активатор», результаты электронно-зондовых и рентгенофазовых исследований подтвердили образования гидратных соединений типа натриевых алюмосиликатов кальция - цеолитов, кварца, плагиоклаза, слюды, позволяющие получать эффективные ремонтные составы.

### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РЕМОУНТНЫХ СОСТАВОВ ИЗ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ НА БАРХАННЫХ ПЕСКАХ**

Мелкозернистые бетоны, отличающиеся отсутствием крупного заполнителя, являются эффективным материалом при изготовлении густоармированных, тонкостенных конструкций, дорожных покрытий и элементов мощения, ремонтных бетонов.

Необходимо также отметить, что мелкозернистые бетоны занимают не последнее место при производстве ремонтных работ, когда нужно замоноличивать стыки конструкций, заделывать дефекты в виде трещин и отслоения бетона, снижающие долговечность конструкций. К тому же работы надо учитывать, что ремонтные работы могут проводиться при различных климатических условиях, либо при высоких, либо при отрицательных температурах. И вот в таких условиях обеспечить высокую адгезию старого и нового ремонтного бетона, прогнозировать их совместную работу приобретает особую актуальность и требует разработки специальных подходов к подбору наиболее рациональных ремонтных составов.

Ремонтные составы из мелкозернистого бетона должны отличаться высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами, так как в период эксплуатации необходимо противостоять влиянию низких

отрицательных температур, циклическому замораживанию и оттаиванию, различным условиям взаимодействия с окружающей средой, развитию трещин в напряженном состоянии.

Как известно, основной причиной разрушения бетона являются деформации, возникающие в результате действия внутренних напряжений, в материале с высокой капиллярной пористостью в следствии замерзания воды в открытом поровом пространстве.

Особенностью мелкозернистых бетонов можно считать повышенный расход вяжущего, что связано с высокой пустотностью заполнителя, все это в комплексе будет способствовать увеличению пористости материала. А эксплуатационные и физико-механические показатели, такие как прочность, водонепроницаемость, водостойкость, морозостойкость, химическая стойкость, которые необходимы для создания долговечных ремонтных составов бетона зависят, в первую очередь, от величины пористости, характера и конфигурации пор и процессов формирования структуры. Применение тонкомолотых вяжущих на основе дисперсных минеральных наполнителей и ПАВ в комплексе с полимерными материалами позволят повысить все перечисленные выше свойства и получить эффективные ремонтные составы из мелкозернистых бетонов.

Анализ проведенных исследований [28, 61, 90, 97] позволил выделить некоторые основные факторы положительного комплексного влияния тонкомолотых наполнителей и полимерных материалов на структуру и физико-механические показатели мелкозернистых композитов:

- снижается суммарная пористость цементного камня в бетоне, за счет увеличения объемной концентрации и дисперсности заполнителя;
- связывается гидроксид кальция, образующаяся при гидратации трехкальциевых силикатов кальция, аморфным кремнеземом  $\text{SiO}_2$  тонкодисперсных активированных наполнителей;



- ускоряется начальная стадия химического взаимодействия клинкерных минералов портландцемента с тонкодисперсными частицами наполнителя, которые являются активными центрами кристаллизации;
- образуются кластеры «вяжущее-наполнитель» за счет повышенной поверхностной энергии частиц наполнителя;
- упрочняется зона контакта между цементным камнем и заполнителем в бетоне;
- снижается водопотребность бетонной смеси из-за применения механоактивированных минеральных наполнителей.

При проектировании ремонтных составов из мелкозернистого бетона, необходимо учитывать конкретные условия работы изделий и конструкции, к которым предъявляются следующие требования: ускорение процесса твердения, замедление темпа схватывания, возможность регулировать удобоукладываемость бетонной смеси, то есть либо получение подвижности до 10 см, либо литых смесей с осадкой конуса более 20 см, обязательная безусадочность или возможность расширения, высокая плотность и химическая стойкость, высокая адгезия к ремонтируемому слою бетона.

Регулировать эти параметры возможно использованием эффективных многокомпонентных вяжущих, современных добавок, качественных заполнителей, специальных методов укладки и условий твердения, необходимой подготовкой поверхности зоны контакта со старым бетоном.

### **3.1 Типы структур мелкозернистых бетонов и соответствующие схемы их взаимодействия**

Для того чтобы получить ремонтные составы из мелкозернистых бетонов с улучшенными эксплуатационными свойствами необходимо спроектировать довольно плотную, с оптимальным распределением фракций, структуру композита. Поэтому, желательно рассмотреть типы структур и схемы взаимодействия дисперсных систем мелкозернистого бетона, представленные на рисунке 3.1.

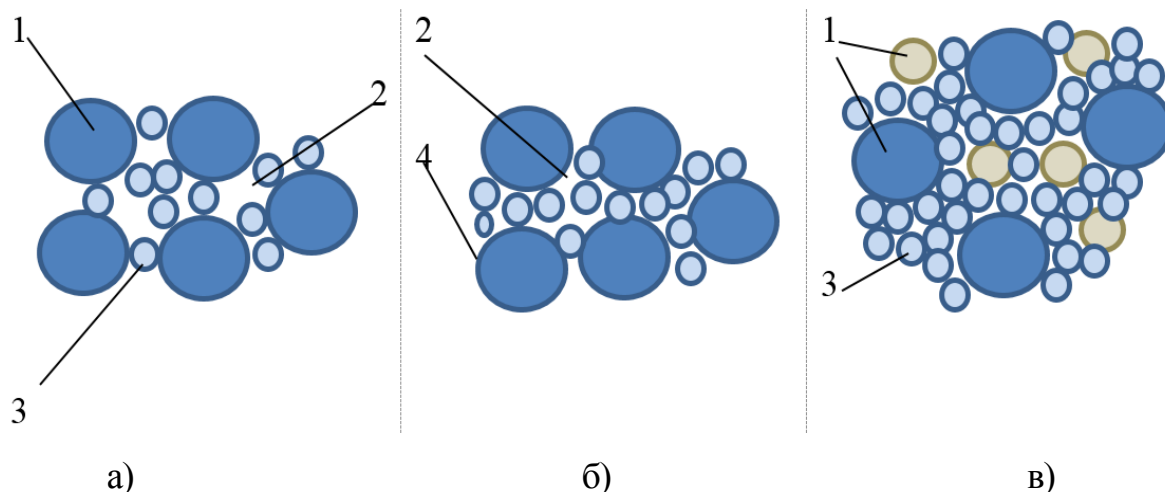


Рисунок 3.1 – Виды оптимальных структур композитов  
 1 - зерна заполнителя; 2- незаполненные поры; 3– тонкомолотое вяжущее вещество в объемном состоянии; 4 – поверхностный слой зоны контакта

Соотношение между мелким заполнителем и вяжущим в формовочной смеси определяется из следующих аспектов. В зависимости от непосредственного содержания и взаимного расположения твердых компонентов системы, выполняющих функции каркаса и упрочняющего и матричного материала, выделяют контактный, законтактный и порфировый виды структур.

Порфировый тип структуры принимается таким, в котором зерна или сплошные частицы твердых тел разделены между собой толстыми промежутками цементного раствора и для них свойственно "плавающее" распределение заполнителя в материале. Контактная структура присутствует когда частицы заполнителя контактируют между собой через небольшие слои вяжущего при этом сохраняется ее непрерывность и дискретность системы. А если наблюдается непосредственный контакт твердых элементов и дефицит раствора вяжущего теста для соблюдения всей сплошности, то такую структуру называют законтактной.

Для того чтобы в дальнейшем спроектировать составы ремонтных мелкозернистых бетонов необходимо более тщательнее рассмотреть существующие структуры материала, формирующиеся в результате начального капиллярного структурообразования и рационального

расположения вяжущей растворной части, в зависимости от его относительного содержания в объеме материала.

Законтактная структура материала (рис. 3.1 а) отличается относительно малым количеством цементирующей растворной части в объеме композита, при этом практически вся эта часть связующего вещества собирается в виде мелкодисперсных частиц вяжущего на поверхности грубодисперсных частиц мелкого заполнителя, в контактной зоне с песком и под воздействием внутри капиллярного сцепления существует в пленочном состоянии в контактных слоях.

В самом композите наблюдается большое множество незаполненных пустот. Данный тип структуры можно охарактеризовать нестабильным и довольно критичным по отношению, как к содержанию растворной части вяжущего вещества, так и к величине влажности формовочной сырьевой смеси.

Последний фактор и определяет присутствие резко отмеченного экстремума на кривых графика, показанных на рисунках 3.2 и 3.3 для сырьевой смеси рецептуры 1:5.

Прочность композитов с такой структурой довольно низкая, так как общее количество контактных связей, воспринимающих воздействующие нагрузки не значительно, а появляющиеся внутренние напряжения сосредоточены именно в зонах контакта зерен заполнителя и цементирующего связующего.

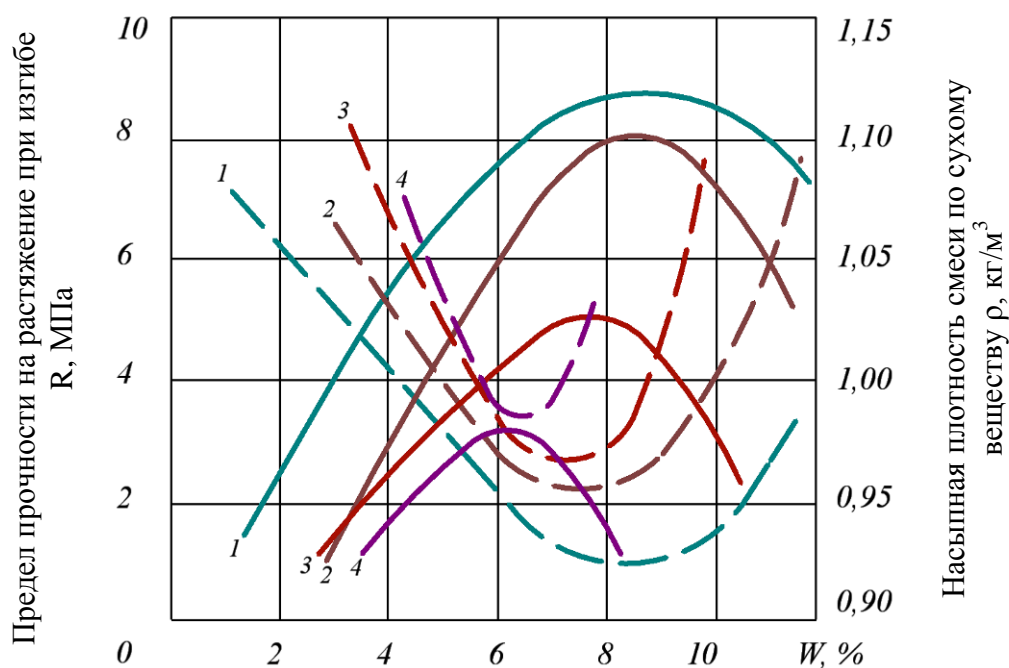


Рисунок 3.2 – Зависимость насыпной плотности сырьевой смеси (пунктир) и прочности на растяжение при изгибе мелкозернистого бетона (сплошная линия) от влажности сырьевой смеси при постоянной пористости образцов: 1 – состав смеси (цемент: песок) 1:1; 2 – 1:2; 3 – 1:3; 4 – 1:5

Контактная структура материала (рис. 3.1 б) наиболее рациональная, так как обусловлена присутствием наибольшего возможного количества контактных связей при среднем количестве растворной составляющей вяжущей части композита.

Контактный тип присутствует при соприкосновении дискретных частиц мелкого заполнителя непосредственно не через точки контакта, а через прослойки растворной части вяжущего, не боясь прорыва последней, при этом в пустотах между зернами заполнителя цементирующее вещество содержится в объемном, более слабом, по сравнению с пленочным, состоянии.

Данная структура довольно стабильная и не критичная в определенном смысле по отношению, и к содержанию растворной части вяжущего вещества, так и к величине влажности формовочной сырьевой смеси. Последнее качество и выражается в плавных экстремумах на кривых

графиков, показанных на рисунках 3.2 и 3.3 для смесей составов 1:3 и 1:2.

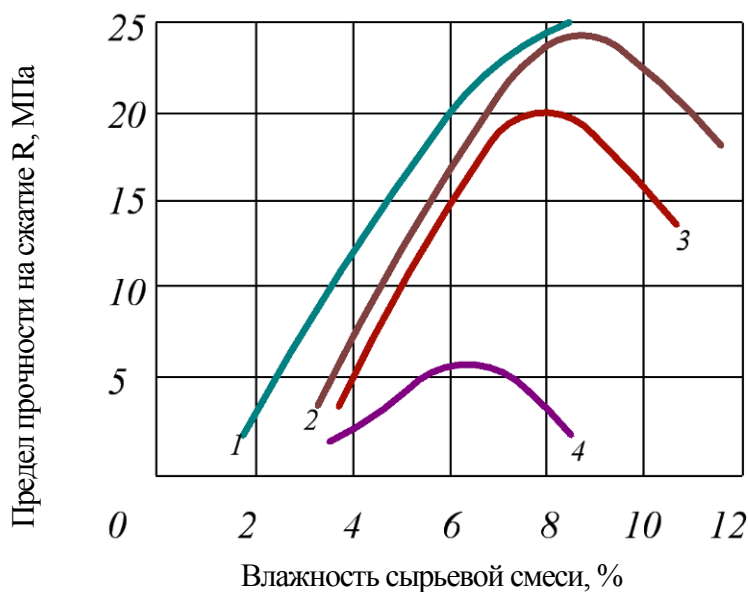


Рисунок 3.3 – Зависимость прочности на сжатие образцов мелкозернистого бетона от влажности сырьевой смеси при постоянной пористости образцов: 1 - состав смеси (цемент: песок) 1:1, 2- 1:2, 3 -1:3, 4- 1:5

Порфировая структура (рис. 3.1 в) характерна при значительном количестве растворной части вяжущего вещества (из исследуемых рецептур к порфировой структуре можно отнести смесь 1:1). В случае этой структуры можно отметить, то что зерна заполнителей с контактными прослойками растворной части вяжущего вещества находятся на более отдаленном расстоянии друг от друга, и растворные слои между заполнителями занимают более слабые зоны матричного композита, что впоследствии скажется на замедленном наборе прочности ремонтного бетона, а в дальнейшем она начнет и снижаться. Для порфировой структуры присуще неопределённость экстремума на кривые зависимости прочности ремонтного бетона от влажности формовочной сырьевой смеси на рисунках 3.2 и 3.3, особенно это наблюдается, когда происходит превышение оптимального значения влажности. Можно наблюдать и существенное снижение прочности при минимальных величинах влажности, что обусловлено дефицитом воды для протекания гидратационных реакций.

### **3.2 Влияние гранулометрии и вида заполнителя на свойства ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках**

Проектируемые рецептуры ремонтных составов из мелкозернистого бетона на основе многокомпонентных тонкомолотых вяжущих должны в конечном счете создать такую однородную среду, в которой будут плотно упаковываться частицы портландцемента, минеральной добавки из барханных песков, ПАВ и заполнителя. Вероятность получения качественной и долговечной композиции высокой прочности и плотности возможна только при корректном подборе всех компонентов бетонной смеси [52, 59, 66, 67].

Так как в состав ремонтных составов из мелкозернистого бетона входят только два компонента вяжущее и заполнитель, то именно от качества песка, его минералогического, химического и гранулометрического состава будут зависеть реологические, технологические и прочностные параметры композита. Модуль крупности, размер и форма поверхности, межзерновая пустотность, водопотребность и другие важные свойства оказывают влияние на показатели бетонной смеси, цементного камня и, конечно же, мелкозернистого бетона [76].

Есть опыт применения [67, 70, 72] для получения ремонтных составов мелкозернистых бетонов природных кварцевых или кварцево-полевошпатовых песков с модулем крупности 2,5 и более, полный остаток на сите № 0,63 не меньше 50 %, а также техногенный песок из отсевов дробления горных пород на щебень. Данный заполнитель отвечает требованиям ГОСТ 8735-88 и ГОСТ 8736-93.

Так же на практике для разработки мелкозернистых бетонов, применяемых для получения нижнего слоя многослойных одежд дорог и основания, рекомендуются крупные и средние пески с модулем крупности 2,0 – 2,5, полный остаток на сите № 0,63 не меньше 30 %. А применение мелких песков с модулем крупности 1,5 – 2,0, полный остаток на сите № 0,63

10 – 30 % и тонких песков с модулем крупности менее 1,0 возможно, но только если предоставить технико-экономическое обоснование. Поэтому барханные пески, относящиеся к категории тонких песков с модулем крупности 0,6 перед внедрением на практике необходимо доказать их технико-экономическую эффективность, и, конечно же, целесообразней всего использование фракционирования песков, проводя экспериментальные подборы смешивания крупных фракций с мелкими фракциями для получения оптимальной кривой просеивания заполнителя, снижения величины межзерновой пустотности и водопотребности песка.

Установлено [22, 49, 63], что высокий показатель водопотребности тонких песков будет способствовать существенному увеличению водоцементного отношения бетонных смесей и расходу самого дорогого компонента бетона – вяжущего. Еще один негативный фактор присутствующий в зерновом составе песков это высокое содержание частиц размером меньше 0,315—0,14 мм, наличие пылеватой фракции и глинистых примесей, которых допускается в тонких и очень тонких песках до 10 %.

Правильно подобранная рецептура мелкозернистого бетона, с учетом качественных показателей заполнителя в дальнейшем скажется на процессе структурообразования и эффективности применения, вяжущего в композите. Так как значительное содержание цементного камня, связанное с отсутствием жесткого каркаса из крупного заполнителя, повышает деформативность мелкозернистых бетонов. Установлено, что модуль упругости исследуемых бетонов на 25—35% меньше, чем у тяжелых бетонов.

Структура исследуемых бетонных смесей может иметь четыре характерные реологические зоны, которые будут изменяться в зависимости от соотношения расходов: цемент, песок и вода затворения, и обеспечат заданную удобоукладываемость формовочных сырьевых смесей [75].

-Первая реологическая зона — это «жирная» смесь, при П/Ц = 2,3 и выше, зерна заполнителя расположены на значительном расстоянии от других зерен, вязкость формовочной смеси зависит от ее цементно-водного

отношения. Снижая расход вяжущего уменьшается водопотребность бетонной смеси, а если увеличить долю заполнителя вязкость формовочной смеси не изменится существенно. Жирные смеси при уплотнении вибрированием предрасположены к седиментации из-за осаждения зерен заполнителя.

- Вторая реологическая зона представлена соотношением П/Ц от 1/4 до 2,3, в эту зону входят часто используемые в строительстве составы исследуемых бетонов. Повышение доли заполнителя в формовочной смеси отражается на вязкости, что особенно характерно при применении мелких песков.

- Третья реологическая зона характеризуется П/Ц от 1/4 до 1/10, формовочная смесь состоит из зерен заполнителя, покрытых тонким слоем цементного теста и ощущается дефицит вяжущей части, присутствуют пустоты между зернами заполнителя. Увеличив долю заполнителя, можно значительно повысить вязкость и водопотребность бетонной смеси.

- Четвертая реологическая зона - это «тощая» смесь с минимальным расходом вяжущего. При высокой доли заполнителя цементного теста уже недостаточно для склеивания зерен песка, а, чтобы сохранить подвижность необходимо увеличить расход воды, что приведет к расслоению бетонной смеси.

Следовательно, для получения эффективных ремонтных составов из мелкозернистых бетонов необходимо правильно подобрать модуль крупности песка, регулировать его основные показатели и рассчитать наиболее экономичные составы с использованием крупных песков с П/Ц от 2 до 4. При применении мелких песков оптимальным будет соотношение П/Ц от 1 до 1,5.

Для получения ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов были изучены свойства трех видов природных песков: барханные пески Шелковского месторождения, отсева дробления валунно-песчаных горных пород Аргунского месторождения и кварцевые



пески Червленского месторождения использовались для проведения сравнительного анализа. Все исследованные в работе пески существенно отличаются по своему химическому, минералогическому и гранулометрическому составу, свойствам и характеристикам их приведены подробно во второй главе. Барханные пески относятся к классу тонких с модулем крупности  $M_k = 0,6$ , водопотребность их довольно высокая 12 %, межзерновая пустотность так же имеет высокий показатель 48 %, поэтому для получения прочных и долговечных мелкозернистых бетонов необходимо обогащать данные пески высевками от дробления горных пород, которые относятся к категории очень крупных песков с модулем крупности 3,58. На рисунке 3.4 мы наблюдаем, что ни одна из кривых просеивания не легла в допустимую зону, барханные пески, находятся в зоне мелких песков, а отсеvy дробления в зоне крупных песков.

Поэтому для того чтобы получить качественные композиции, необходимо укрупнять зерновой состав барханных песков, для чего можно использовать такие технологические мероприятия, как фракционирование барханных песков и отсеvов дробления, изъятие более крупных фракций, добавление более мелких фракций и обогащение недостающими фракциями. Используемые технологические мероприятия (таблица 3.1) дали возможность расположить или приблизить кривые просеивания полученных смешанных песков к рекомендуемой зоне оптимального гранулометрического состава, а также снизить водопотребность и межзерновую пустотность.

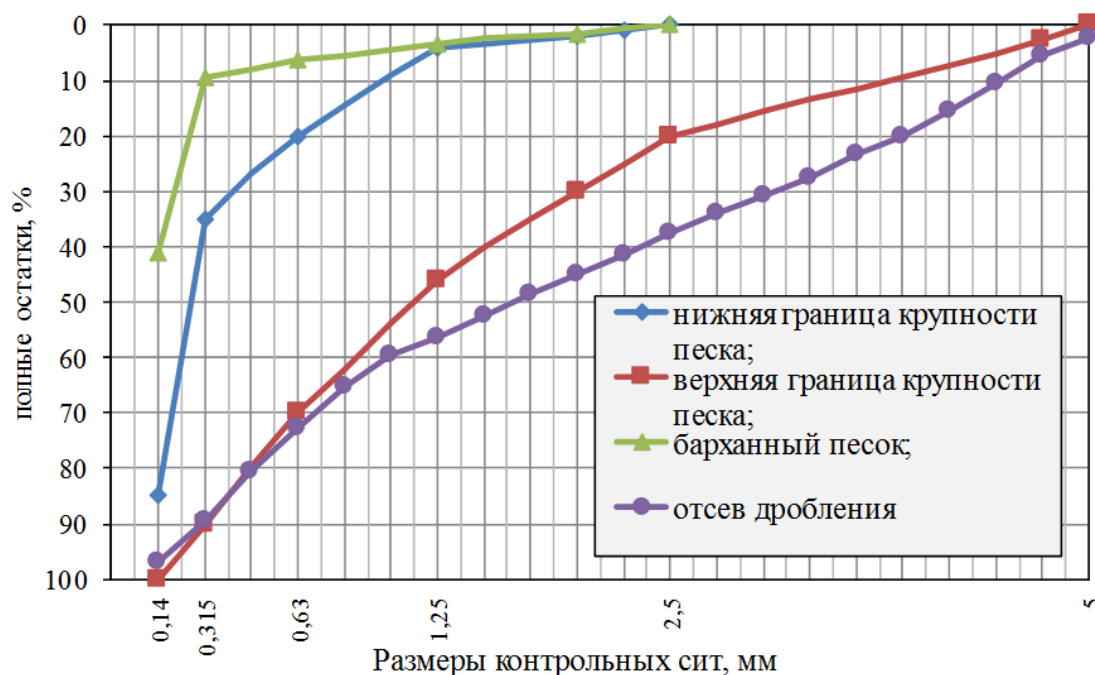


Рисунок 3.4 – График кривых просеивания исследуемых песков

Таблица 3.1 – Технологические приемы обогащения песков

Шифр обогащенного песка	Соотношение отсева дробления: барханный песок	Количество изъятой фракции отсева дробления 5 – 2,5 мм, %	Количество изъятой фракции отсева дробления 1,25 – 0,63 мм, %	Количество добавленной фракции отсева дробления 0,63 – 0,315 мм, %	Количество добавленной фракции барханного песка 0,14 – 0,315 мм, %
1	40/60	50	10	-	60
2	60/40	60	-	20	40
3	30/70	70	-	-	70
3	50/50	40	10	-	50
5	80/20	-	80	60	20

Фракционированием отсева дробления Аргунского месторождения и тонких барханных песков мы получили различные композиции обогащенных песков результаты представлены в таблице 3.2 и на рисунке 3.5.

Результаты получения оптимального зернового состава мелкого заполнителя показали, что технологические приемы, применённые в рецептурах обогащенных песков № 1 и 2 являются наиболее эффективными, так как наблюдается снижение пустотности, водопотребности, что в дальнейшем положительно отразится на свойствах ремонтных

модифицированных составов из мелкозернистого бетона

Таблица 3.2 – Гранулометрический состав обогащенных песков

Шифр песка	Полные остатки (%) на ситах, мм						Модуль крупности	Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пустотность, %	Водопоглощаемость, %
	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14				
1	2,2	20,8	35,3	53	65,9	96,8	2,70	1500	41,5	6,9
2	2,2	18,6	38,1	59,8	75,9	96,8	2,91	1510	38,8	6,5
3	2,2	11,4	30,9	52,6	68,7	96,8	2,60	1460	42,7	7,4
4	-	22,2	34,5	49	65,1	96,8	2,67	1470	43,1	7,0
5	2,2	41,4	60,9	67,1	83,2	96,8	3,51	1540	44,2	5,9

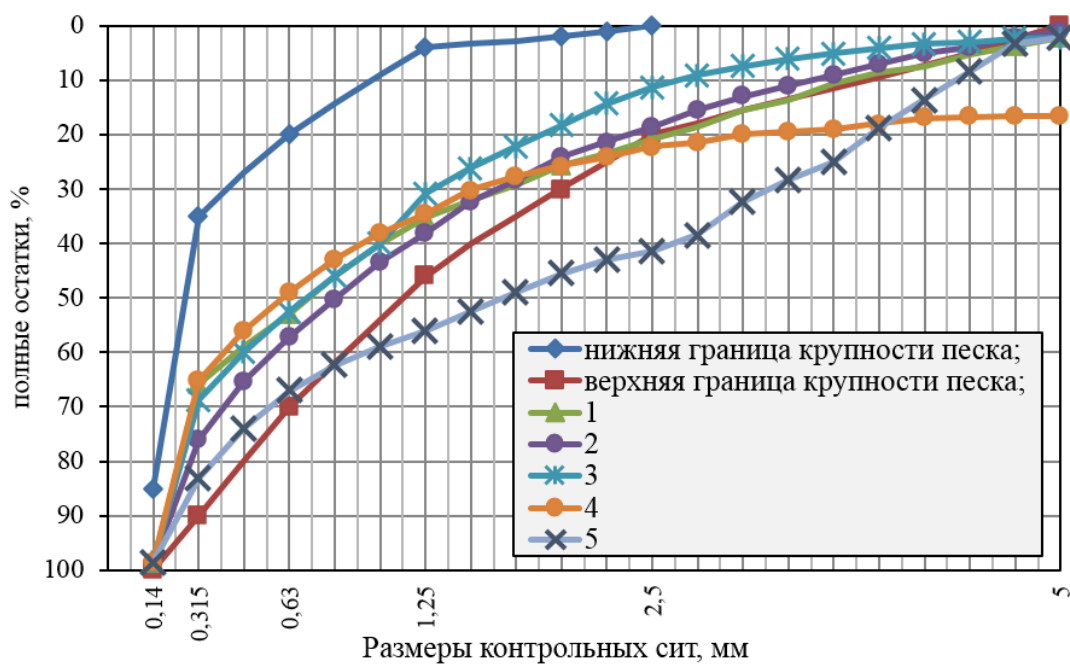


Рисунок 3.5 – График кривых просеивания обогащенных песков

Для подтверждения выдвинутой гипотезы и оценки влияния гранулометрического состава заполнителя на свойства бетона, были приготовлены образцы кубы размером 10x10x10 см из бетонной смеси с классом по подвижности П1 с использованием портландцемента, не

домолотого без добавочного и обогащенных песков, рецептуры которых показаны в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Влияние зернового состава песка на свойства ремонтных модифицированных составов

Шифр песка	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			В/Ц	Свойства ремонтного бетона		
	ПЦ	П	В		средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	прочность, МПа в возрасте 28 сут	водопоглощение, %
1	535	1520	214	0,40	2250	43,4	7,8
2	530	1530	201	0,38	2240	46,2	6,7
3	545	1510	223	0,41	2255	42,8	7,6
4	540	1510	210	0,39	2240	39,7	8,2
5	525	1530	204	0,39	2235	38,5	9,4

Полученные результаты подтверждают мнение, что гранулометрический состав заполнителя влияет на свойства ремонтного бетона, можно отметить, что со снижением пустотности песка (состав №2) наблюдается прирост прочности, к тому же расход цементного теста уменьшается, улучшение свойств можно объяснить оптимальным присутствием в составе заполнителя зерен барханного песка окатанной формы. Так же можно отметить, что с уменьшением модуля крупности песка водопотребность бетонной смеси увеличивается, вероятно это связано с увеличением водопотребности заполнителя.

На следующем этапе исследовано влияние гранулометрического состава полученных обогащенных заполнителей на свойства ремонтных модифицированных составов с применением виброактивированного тонкомолотого вяжущего на основе барханных песков в качестве минерального наполнителя. Для получения составов бетонов была приготовлена бетонная смесь с использованием ТМВ-75 виброактивированного в течение 10 минут и обогащенных песков (рецептура 3.2), подвижность смеси увеличилась, так как в состав тонкомолотого

вяжущего входит ПАВ, а водопотребность уменьшилась. Были изготовлены образцы кубы размером 10x10x10 см, которые твердели в камере выдерживания при температуре  $20 \pm 2$  °С и влажности 95 %. Изучалась кинетика набора прочности на 3, 7 и 28 сутки твердения, результаты испытаний приведены в таблице 3.4 и на рисунке 3.6.

Таблица 3.4 – Влияние зернового состава песка на свойства ремонтных модифицированных составов на основе ТМВ-75

Шифр песка	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>			В/Ц	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте			П/Ц
	ТМВ-75	П	В			3	7	28	
1	535	1520	182	0,34	2237	13,8	44,2	57,8	3,03
2	530	1530	164	0,31	2224	14,2	47,1	63,2	3,07
3	545	1510	180	0,33	2235	13,3	41,3	54,6	2,95
4	540	1510	184	0,34	2234	12,8	38,4	52,9	2,98
5	525	1530	173	0,33	2228	12,6	37,8	51,7	3,10

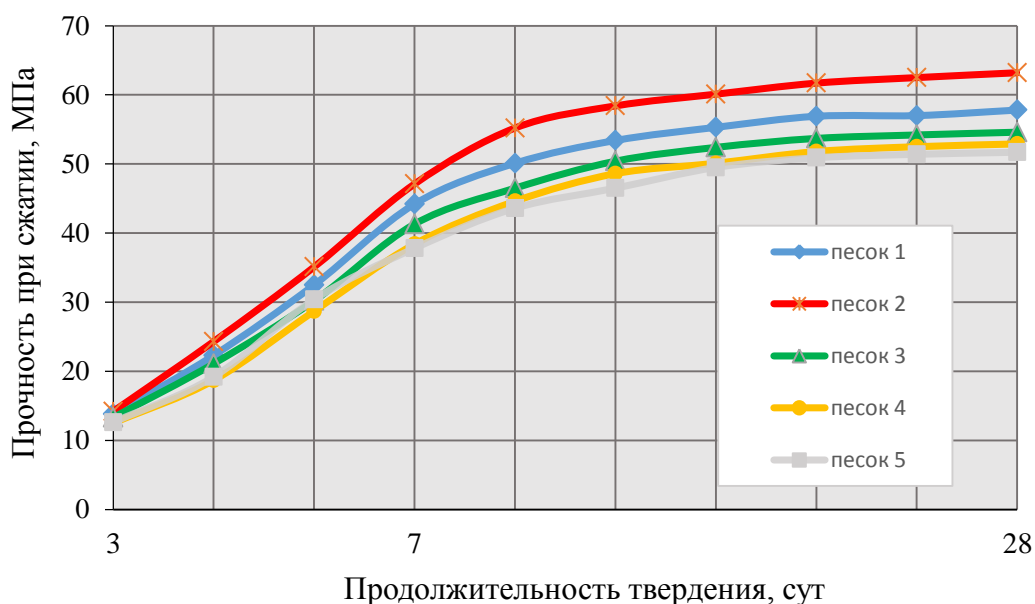


Рисунок 3.6 – Зависимость прочности от гранулометрического состава песка

Результаты испытаний ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона показали, что использование тонкомолотого вяжущего ТМВ -75 благоприятно сказалось на прочностных характеристиках композитов с применением обогащенных песков всех 5 составов, в сравнении с образцами на традиционном портландцементе. Можно отметить, что использование многокомпонентного вяжущего, в составе которого суперластификатор С-3, находится в комплексе с портландцементом и минеральной добавкой барханного песка, заметно снижает водопотребность бетонной смеси.

Так же отмечается, что при фракционировании заполнителя можно добиться наименьших показателей межзерновой пустотности, что положительно сказывается на свойствах ремонтного бетона, при этом соотношение заполнителей отсева дробления к барханному песку 60/40 % является наиболее выгодным, что подтверждается результатами испытаний приведенных на рисунке 3.7.

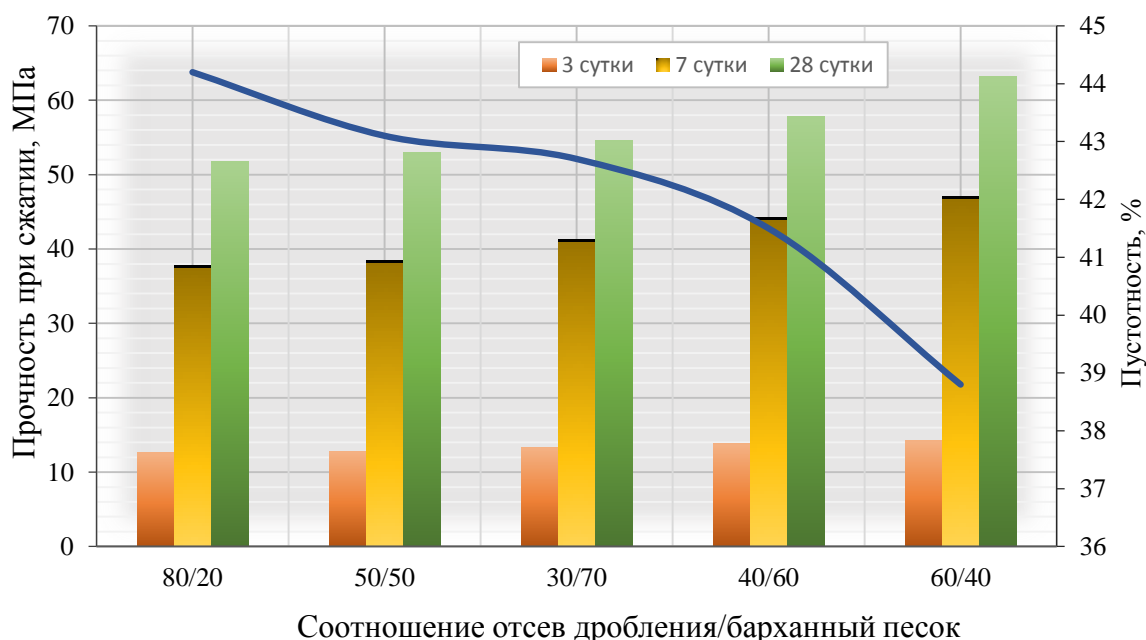


Рисунок 3.7 – Диаграммы зависимости прочности бетона и пустотности от соотношения фракций заполнителя

Соотношение П/Ц равно приблизительно 3, что характерно для первой реологической зоны, когда зерна заполнителя расположены на значительном расстоянии от других зерен, вязкость формовочной смеси зависит от ее цементно-водного отношения. Данная характерная реологическая зона свойственна порфировой структуре мелкозернистого ремонтного бетона, поэтому в дальнейших исследованиях можно снизить расход вяжущего.

Оптимальной рецептурой обогащенного песка можно считать состав №2, в которой удаление 60 % фракции 2,5 – 1,25 мм отсева дробления и добавление 40 % фракции 0,315 – 0,14 мм барханного песка, существенно снижает пустотность заполнителя до 38,8 % и водопотребность до 6,5 %, значительно улучшая свойства полученного с их использованием ремонтных модифицированных составов.

### **3.3 Исследование технологических свойств ремонтных модифицированных составов на барханных песках**

#### **3.3.1 Определение водоудерживающей способности**

Ремонтный модифицированный состав из мелкозернистого бетона – это сложная многокомпонентная и полидисперсная система, в результате взаимодействия частиц твердой фазы и воды затворения возникает связанная смесь с характерными для структурированных вязких жидкостей свойствами, при этом она обладает структурированной прочностью, но в ней отсутствует достаточная упругость и способность к существенным пластическим деформациям.

Структура и свойства бетонной смеси зависят от свойств компонентов, входящих в нее. Бетонная смесь является тиксотропным материалом, под действием механических сил она становится более подвижной, после окончания воздействий постепенно уменьшается подвижность, и в результате протекания физико-химических реакций гидратации воды и портландцемента происходит переход коагулята в гель, вплоть до полной кристаллизации. Протекание процессов твердой фазы в системе обусловлено

наличием сил, возникающих между твердыми частицами различной физической природы, количеством жидкой фазы, насыщенной ионами и другими соединениями, и силами поверхностного натяжения. Так как межзерновая пустотность мелкого заполнителя достаточно велика, по сравнению с их удельной поверхностью, то проявление поверхностного натяжения незначительно.

При повышении дисперсности частиц твердых фаз до 0,1 мм между твердыми частицами появляются капиллярные силы и силы поверхностного натяжения. Поверхность дисперсных частичек в бетонной смеси заряжается и в результате действия на поверхности мельчайших частиц (0,1/10000 мм - 2/10000 мм) в бетонной смеси возникают электрические заряды и в результате появления сил электростатического притяжения и отталкивания образуются флокулы [53, 54]. Флокулы подобны капсулам, в которых находится вода, но она неподвижна, и для получения связанной смеси необходимо повысить расход воды затворения. Коллоидные частицы также склонны к флокулообразованию с неподвижной водой. При увеличении расстояния между твердыми частицами и при изменении состава жидкости в диффузионном слое действие межмолекулярных сил снижается и появляется электрокинетический потенциал.

Повышению подвижности способствует высокоскоростное перемешивание, которое разрушает флокулы и освобождает воду. Но эффективнее способ дефлокуляции использование поверхностно-активных веществ, выводящих пузырьки воздуха и выполняющие функцию подшипников скольжения. Характер действия ПАВ на цементное тесто бетонную смесь определяется строением молекулы ПАВ и соотношением гидрофильных и гидрофобных ее частей.

Химические добавки, способствующие дефлокуляции должны снижать количество воды затворения за счет уменьшения сил поверхностного натяжения на границе жидкой и твердой фазы, уменьшат коэффициент



внутреннего трения и сглаживает микрорельеф частиц портландцемента, образуя отрицательный электрокинетический потенциал.

Для получения эффективных ремонтных составов мелкозернистых бетонов, способных растекаться в объеме трещины или жестких смесей, восполняющих недостающие элементы конструкции, необходимо регулировать технологические свойства бетонной смеси, используя химические добавки и тонкодисперсные минеральные добавки.

Во время приготовления бетонной смеси до начала схватывания происходят седиментационные процессы, которые проявляются из-за различия истинных плотностей, составляющих бетона. Процессы седиментации (расслоения) негативно отражаются на свойствах бетона, так в результате оседания твердых фаз происходит водоотделение, связанное с отжиманием свободной воды [154, 156].

Предотвратить процесс расслоения и водоотделения возможно при использовании в формовочных смесях водоудерживающих добавок. Водоудерживающие компоненты бывают двух типов:

- химические добавки, в виде водорастворимых полимеров;
- тонкодисперсные минеральные добавки - наполнители.

Так же применение до 15 % мелкого заполнителя в бетонную смесь с осадкой конуса 10-15 см практически полностью исключает расслоение бетонных смесей. При использовании более подвижных смесей марок по подвижности П4 и П5 рекомендуется увеличить взвешивающую способность цементного теста путем добавления микрокремнезема или высокодисперсных зол.

Для изучения эффективности действия тонкомолотого вяжущего на барханных песках как водоудерживающей добавки для получения ремонтных составов из мелкозернистых бетонов в качестве полимерных материалов были использованы добавки на основе эфиров поликарбоксилатов и полиакрилатов: Sika Viscocrete 5 New, «Хидетал-ГП-9», расход которых составил 0,9 – 1,2 % от массы цемента, полиакриловая дисперсия «АКРЭМОС

101», расход которой определялся опытным путем и составил 18 % от массы цемента, метилсиликонат натрия с дозировкой 10 % от массы «АКРЭМОС 101». Качественные показатели этих добавок приведены во второй главе. Так же в работе был использован двуводный гипс  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  в количестве 3 % от массы цемента, который выполнял функцию в сочетании с дисперсными добавками барханного песка снижения усадочных деформаций бетонного композита.

Для исследования явления расслоения и водоотделения приготавливались бетонные смеси довольно подвижные с осадкой конуса 15-20 см с использованием тонкомолотых вяжущих, наполнителей из барханных песков, суперпластификаторов Sika Viscocrete 5 New, «Хидетал-ГП-9», акриловой дисперсии «АКРЭМОС 101», метилсиликоната натрия и фракционированного заполнителя, полученного смешиванием в соотношении 60/40 отсевов дробления и барханных песков. В процессе приготовления бетонной смеси определялось водоотделение, а оцениванием разницы плотностей верхних и нижних слоев затвердевшего бетона – уровень расслоения.

Водоотделение бетонной смеси исследовали согласно методике ГОСТ 10181 «Смеси бетонные. Методы испытаний», для чего бетонную смесь укладывали в сосуд и уплотняли в течение 10 сек и через 1,5 часа пипеткой отбирали количество воды, отделившейся в результате седиментации твердой фазы. Относительное водоотделение вычисляли как отношение количества отделившейся свободной воды к объему смеси (мл/л) по формуле:

$$P_B = \frac{m_B}{\rho_B \cdot V_{б.см}} \cdot 100 \% \quad (3.1)$$

где  $m_B$  – масса отделившейся воды, г;

$\rho_B$  – плотность воды 1 г/см<sup>3</sup>;

$V_{б.см}$  – объем уплотненной бетонной смеси, см<sup>3</sup>

Из разработанных составов (таблица 3.5) были приготовлены образцы цилиндры с диаметром и высотой 10 см в специально изготовленных

металлических формах, состоящих из двух частей – полуформ. Далее формы с уложенной смесью уплотняли с пригрузом на виброплощадке в течение 30 сек марка по подвижности ПЗ (ОК 10 – 15 см). После 28 суточного твердения образцы испытывали на прочность и плотность бетона в верхних и нижних слоях образца.

Рецептуры ремонтных составов из мелкозернистых смесей и результаты определения водоудерживающей способности по водоотделению и расслоения приведены в таблице 3.5.

Полученные результаты исследования седиментации показали, что хорошая водоудерживающая способность проявляется у всех исследуемых ремонтных составов, так как у всех водоотделение меньше значения допустимого 0,8 для марки по удобоукладываемости ПЗ, и это благодаря применению в ремонтных составах тонкодисперсных порошков барханных песков.

Но можно выделить наиболее эффективные ремонтные составы с использованием тонкомолотых вяжущих с двухводным гипсом и суперпластификатором Sika Viscocrete состав № 6, и с акриловой дисперсией АКРЭМОС 101 и метилсиликонатом натрия состав №8. Установлено минимальное водоотделение, потери плотности 1,6-1,8 % и прочности 1,5-2,2 %.

Высокую водоудерживающую способность комплексного использования тонкомолотых вяжущих на барханных песках с гипсом можно обосновать присутствием двухводного сульфата кальция, водопотребность которого более высокая и именно он, образуя волокна гидросульфатоалюминатов кальция создает расширяющий эффект. Так же можно выделить добавку Sika Viscocrete, она является более эффективной, чем Хидетал. Расслоение смеси с использованием Sika Viscocrete в комплексе с 3 % гипсом значительно меньше, чем у других составов. Использование акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 в комплексе с метилсиликонатом натрия дает минимальное водоотделение, несущественное расслоение

мелкозернистой смеси. Объяснению этому служит полимерная составляющая, которая обволакивает зерна вяжущего и заполнителя, заполняя пустоты и неровности, тем самым проявляет высокую водоудерживающую способность. Так же образованию седиментации препятствует непрерывный

Таблица 3.5 – Рецептуры и результаты определения водоотделения и расслоения ремонтных модифицированных составов на барханных песках

№ состава	Расход материалов бетона, кг/м <sup>3</sup>										В/Ц	Водоудерживающая способность, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>		потеря плотности, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие в возрасте 28 сут, МПа		потеря прочности, МПа
	Ц	ТМВ-75	АКРЭМОС 101	ГКЖ-11	ФЗ	МН	Sika Viscocrete	Хидетал	Двуводный гипс	В			нижний слой	верхний слой		нижний слой	верхний слой	
1	430	-	-	-	1510	100	6	-	-	180	0,42	0,46	2215	2146	-69	57,8	53,3	-4,5
2	430	-	-	-	1510	100	-	6	-	189	0,44	0,50	2225	2151	-74	56,7	51,8	-4,9
3	420	-	-	-	1520	90	6	-	15	200	0,48	0,45	2230	2169	-61	59,2	54,9	-4,3
4	420	-	77	7	1520	90	-	-	-	117	0,28	0,40	2231	2179	-52	66,3	63,1	-3,2
5	-	530	-	-	1510	-	5	-	-	164	0,31	0,32	2214	2172	-42	70,2	68,4	-1,8
6	-	530	-	-	1510	-	-	5	-	175	0,33	0,33	2212	2164	-48	68,6	66,5	-2,1
7	-	520	-	-	1520	-	5	-	15	182	0,35	0,30	2216	2176	-40	71,7	70,1	-1,6
8	-	520	94	9	1520	-	-	-	-	130	0,25	0,28	2273	2235	-38	75,2	74,0	-1,2
9	540	-	-		1400	-	-	-	-	292	0,54	0,61	2200	2098	-102	40,1	27,9	-12,2

**Примечание:** ТМВ-75 – тонкомолотое вяжущее совместная виброактивация в течение 10 минут (ПЦ 74 % + барханный песок 25 % + С-3 – 1 %)  $S_{уд} = 480 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; ФЗ – фракционированный заполнитель, полученный обогащением отсеков дробления (60 %) барханными песками (40 %); МН – микрозаполнитель, виброактивированный в течение 10 минут барханный песок  $S_{уд} = 410 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; АКРЭМОС 101 полиакрилатная дисперсия расход 18 % от массы цемента; ГКЖ-11 метилсиликонат натрия расход 10 % от массы полиакрилатной дисперсии; состав №8 - контрольный образец на кварцевом песке Червленского месторождения

гранулометрический состав обогащенного песка и минимальная его пустотность.

Таким образом, для стабилизации седиментационных мелкозернистых бетонных смесей рекомендуется применять полимерные и минеральные дисперсные добавки, гипс и эффективные водоредуцирующие суперпластификаторы.

### **3.3.2 Исследование удобоукладываемости ремонтной модифицированной мелкозернистой смеси**

Комплексное использование полимерных, минеральных и химических компонентов основано на следующих подходах [145, 146]:

- аддитивный, когда все компоненты смеси, определенной концентрации не изменяют индивидуальный характер влияния;
- синергетический, когда общее действие комплекса добавок выше действия каждого компонента в отдельности;
- суперпозиционный, когда учитывается влияние компонентов друг на друга;
- антагонистический, когда проявляется негативное воздействие свойств компонента, проявляющееся при комплексном взаимодействии составляющих смеси.

Совместимость составляющих бетона, и в частности, портландцемента с добавками и взаимного влияния добавок, можно объяснить развитием следующих факторов:

- концептуальный основан на изучении влияния минералогического и химического составов и основных показателей цемента на жизнеспособность бетонной смеси и другие технологические свойства.
- феноменологический с интегрированным влиянием добавок на кинетику гидратационных процессов. Именно этот фактор и определяет кинетические функции влияния, показатели и совместимость

«портландцемент —полимерная, минеральная или химическая добавка» [146]. Степень наполнения системы добавками очень важный показатель.

Присутствует факт и несовместимости в системе «портландцемент – добавка», и может быть это связано с нарушением функциональности добавок, так как происходит наложение физико-химического и коллоидно-химического эффектов. Изучив природу добавок, и подтвердив их совместимость можно открыть новые перспективные решения в технологии ремонтного бетона, бывают случаи, когда мы получаем непрогнозируемые результаты.

Базируясь на принципиальных подходах аддитивности или синергизма, использование в комплексе полимерных, химических и минеральных добавок, дает возможность достижения максимальной эффективности в производстве ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона.

Совместное действие суперпластификатора и тонкодисперсной минеральной добавки значительно уменьшает нормальную густоту цементного теста, водопотребность бетонной смеси снижается, при этом не наблюдается отрицательного действия на реологию бетонных смесей и кинетику прироста прочности. Рациональное комплексное использование ускорителей или замедлителей твердения с суперпластификаторами позволяет регулировать показатели товарных бетонов для проведения работ при отрицательных или положительных температурах в зимнее или летнее время года. Схематическое изображение комплексного формирования добавок для получения бетонов со специфическими свойствами приведена на рисунке 3.8.

Модификация ремонтного бетона подтверждает улучшение свойств и долговечности, к тому же присутствует весомый технико-экономический эффект, так как малые доли процента химических добавок от массы портландцемента значительно изменяют химию процессов твердения смеси, повышают технологические и физико-механические показатели бетона.

Минеральные, полимерные и химические добавки в зависимости от их действия можно разделить:

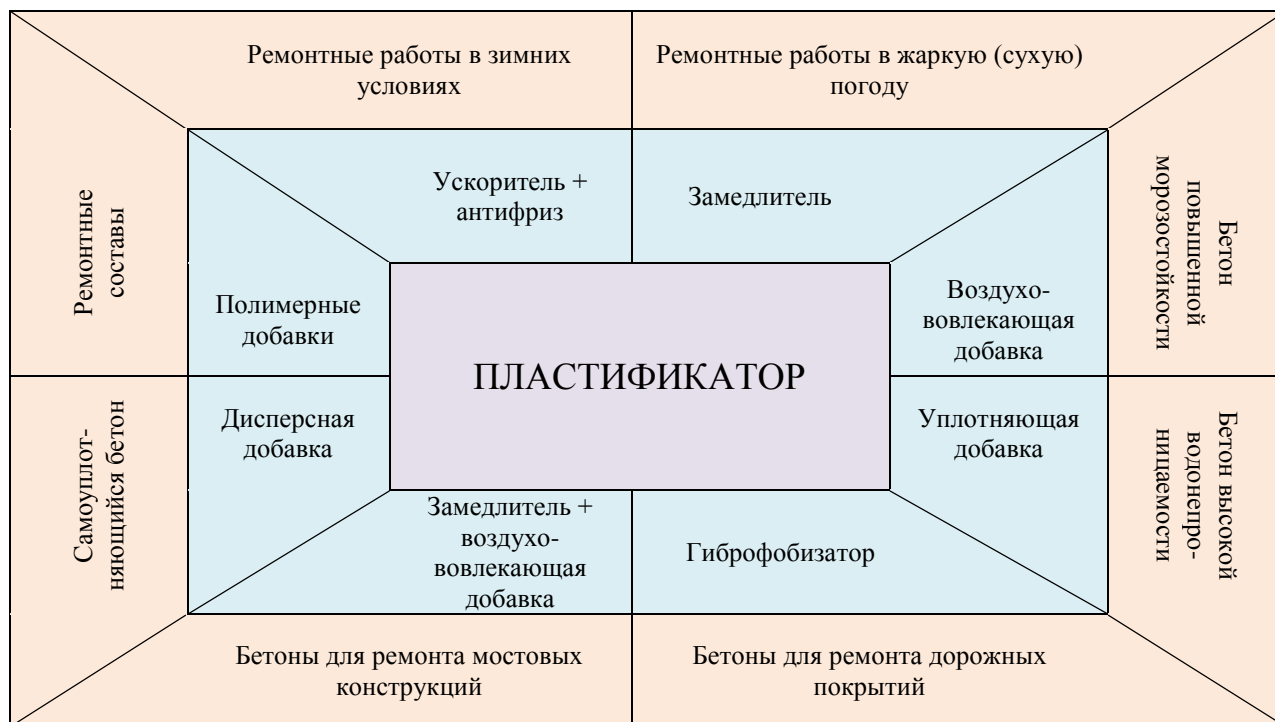


Рисунок 3.8 – Формирование составов комплексных добавок

- модификаторы, повышающие растворимость вяжущих веществ, но большего эффекта и вступления с ними во взаимодействие не наблюдается;
- модификаторы, вступающие в реакцию с вяжущими веществами и образующие в результате труднорастворимые или малодиссоциированные комплексные соединения;
- модификаторы – минеральные добавки, которые являются готовыми активными центрами кристаллизации;
- модификаторы в виде органических поверхностно-активных веществ, способных адсорбировать на своей поверхности твердые фазы.

Химические добавки могут быть многофункциональными, так как помимо эффекта пластификации бетонной смеси они существенно улучшают и свойства конечного продукта. Для проведения ремонтных работ выбрать соответствующую добавку необходимо в зависимости от назначения



ремонтного бетона, климатических условий работы, времени и других факторов. В таблице 3.6 приводятся различные группы химических модификаторов для получения эффективных бетонов при правильном их применении.

Таблица 3.6 – Группы добавок по ГОСТ 24211-2003

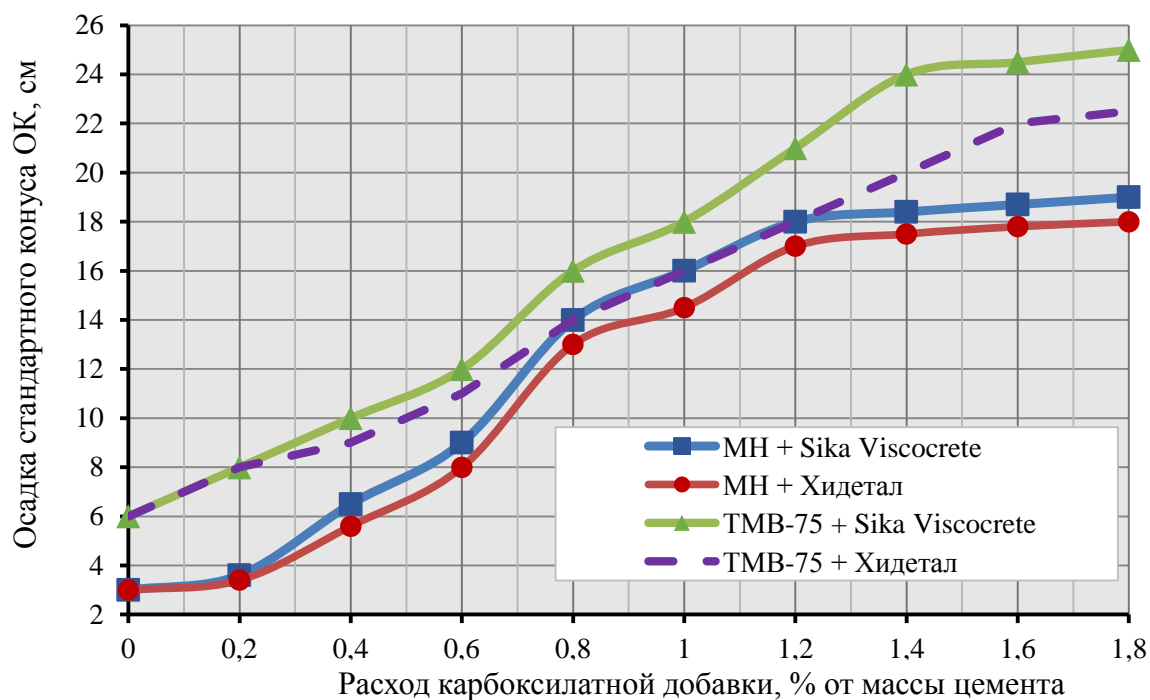
Группы	Характеристика добавок
Пластификаторы водоредуцирующие	Подвижность бетонной смеси от П1 до П5
Стабилизаторы	Водоотделение бетонной смеси снижается в 2 раза
Регулируют сохраняемость и удобоукладываемость	Сохраняемость бетонной смеси повышается или снижается в 1,5 раза и более
Поризаторы	В мелкозернистых бетонных смесях увеличивается объем воздушной фазы на 1,5-5 %.
Регулируют процесс твердения	Повышение прочности на 30% в возрасте 3 суток, и в возрасте 28 суток не более чем на 5%. Снижение прочности бетона изменяется соответственно
Повышают прочность	Прочность повышается в проектном возрасте не 20% и более
Снижают проницаемость	Водонепроницаемость повышают на 2 марки и более
Ингибиторы стали	Повышают пассивирующее действие бетона по отношению к стальной арматуре
Повышают морозостойкость	Повышают марку по морозостойкости на 2 класса
Повышают коррозионную стойкость	Повышают сульфатную коррозионную стойкость (по ГОСТ 27677). Уменьшают деформации от расширения (по ГОСТ 8269.0)
Регулируют усадочные и расширяющие деформации	Уменьшают усадку и гарантируют расширение не менее 0,2%
Противоморозные	Возможность твердения при отрицательных температурах (в возрасте 28 суток не менее 30% прочности)
Гидрофобизаторы	Водопоглощение снижается в 2 раза

Для исследования комплексного влияния тонкодисперсного порошка из барханного песка и тонкомолотого вяжущего с карбоксилатами Sika

Viscocrete, Хидетал и акрилатами АКРЭМОС 101 и метилсиликонатом натрия на технологические свойства ремонтных составов из мелкозернистой смеси, были приготовлены формовочные смеси с дозировкой суперпластификаторов 0,2 – 1,8 % от массы цемента, дозировка акриловой дисперсии изменялись от 15 до 20 % от массы цемента, расход ГКЖ-11 оставался постоянным 10 % от массы акриловой дисперсии. добавка добавлялась в смесь с водой затворения и определялась осадка конуса бетонной смеси согласно ГОСТ 10181.1 - 81 «Смеси бетонные. Методы определения удобоукладываемости». Расходы портландцемента, ТМВ-75, тонкодисперсных микронаполнителей, фракционированного заполнителя и воды соответствовали расходам в таблице 3.5.

Результаты определения подвижности бетонной смеси и эффективности комплексного использования минеральных и полимерных компонентов приведены на рисунке 3.9.

а)



б)

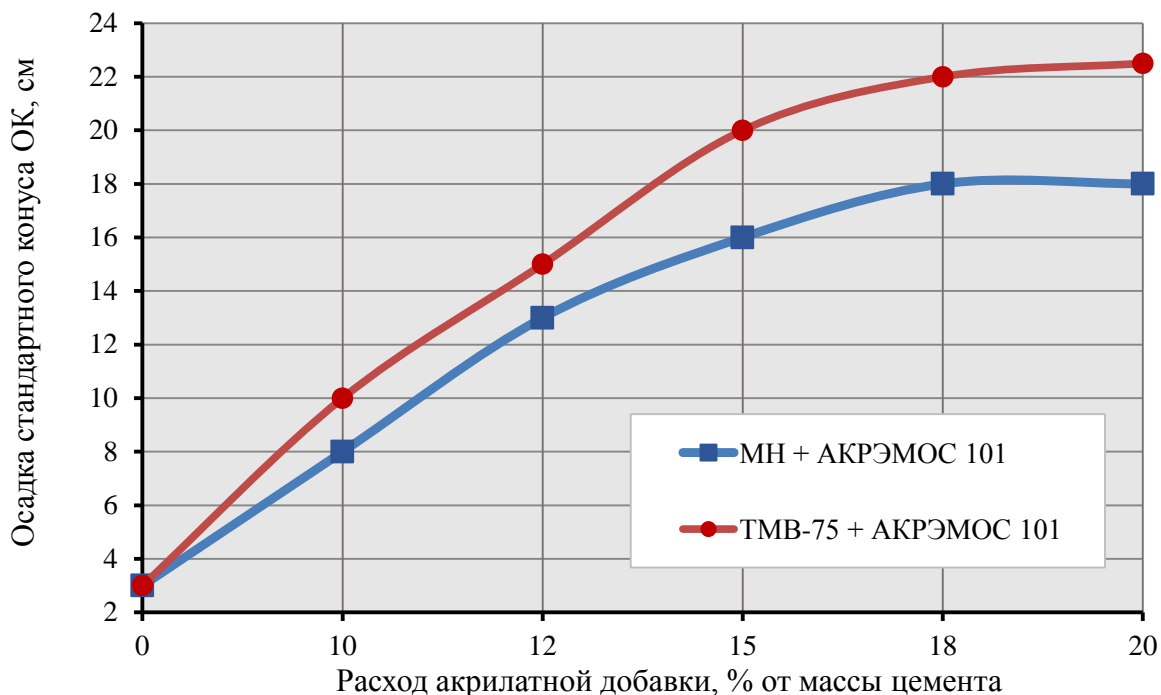


Рисунок 3.9 – Влияние дозировки и вида полимерной добавки на подвижность ремонтной смеси

- а) использование поликарбоксилатных добавок;  
 б) использование акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 и метилсиликоната натрия расходом 10 % от массы дисперсии

Полученные результаты подтверждают эффективность химической добавки Sika Viscocrete 5 New в комплексе с тонкомолотым вяжущим ТМВ-75, в котором так же содержится 1 % С-3, наблюдается высокопластифицирующая и водоредуцирующая способность, получилась связанная и нерасслаивающаяся смесь. Sika Viscocrete 5 New добавка на основе водных растворов эфиров поликарбоксилатов позволяет получать ремонтные смеси с маркой по подвижности от П1 до П5.

Комплексное использование Sika Viscocrete 5 New и С-3 проявляется в суммарном стерическом и электростатическом эффекте от механизма действия этих добавок. Оптимальная дозировка Sika Viscocrete от 1 – 1,4 % от массы цемента, при которой можно получить ремонтную смесь с маркой П4 – П5.

Использование акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 в комплексе с метилсиликонатом натрия, дозировка которого оставалась постоянной 10 % от массы дисперсии, установило высокопластифицирующий эффект ремонтной смеси. При 18 -20 % полимерной составляющей от массы вяжущего получена подвижность по осадке конуса 22 см, при этом в дальнейшем при повышении дозировки дисперсии — это будет отрицательно сказываться на удобоукладываемости смеси. Но сравнивая результаты можно отметить, что карбоксилаты намного лучше проявляют пластифицирующие свойства, особенно в сочетании с тонкомолотыми вяжущими на барханных песках и С-3.

### **3.3.3 Исследование реологических свойств ремонтной модифицированной мелкозернистой смеси**

Ремонтным модифицированным составам из мелкозернистой бетонной смеси необходимо обладать такими реологическими свойствами, которые позволили бы композициям приобретать заданную форму, то есть превращаться из материалов в изделия. И это связано с высокой степенью адгезии старого основания бетонного или из какого-то другого материала с новым ремонтным модифицированным составом из мелкозернистого бетона. Реологические свойства изучались по предельному напряжению сдвигу и структурной вязкости, связанной с деформациями процесса истечения смеси.

Реологические свойства бетонных смесей с комплексным влиянием минеральных и химических добавок определялись по следующим методикам:

- 1) Предельное напряжение сдвигу или прочность на сдвиг определялось по силе выдергивания заформованного в модифицированную бетонную смесь арматурного стержня периодического профиля класса А-III диаметром 16 мм. Усилие выдергивания определялось для всех составов формовочных смесей. Бетонную смесь по заданной рецептуре укладывали в форму куб размером 20 см, с заранее установленным в строго вертикальном

положении арматурным стержнем. Через 30 минут определяем силу выдергивания с помощью прибора снабженного электродвигателем, соединенного с червячной парой. Червячная пара обеспечивает определенную скорость передвижения арматурного стержня периодического профиля и при помощи фиксаторов для формы и динамометра замеряем усилие выдергивания.

2) Структурная вязкость бетонной смеси исследовалась с помощью прибора (рисунок 3.10), конструкция которого представляет собой цилиндр емкостью 6 дм<sup>3</sup>, специальный пригруз с отверстиями и открывающего устройств, для фиксирования и открывания отверстия размером с радиус цилиндра.

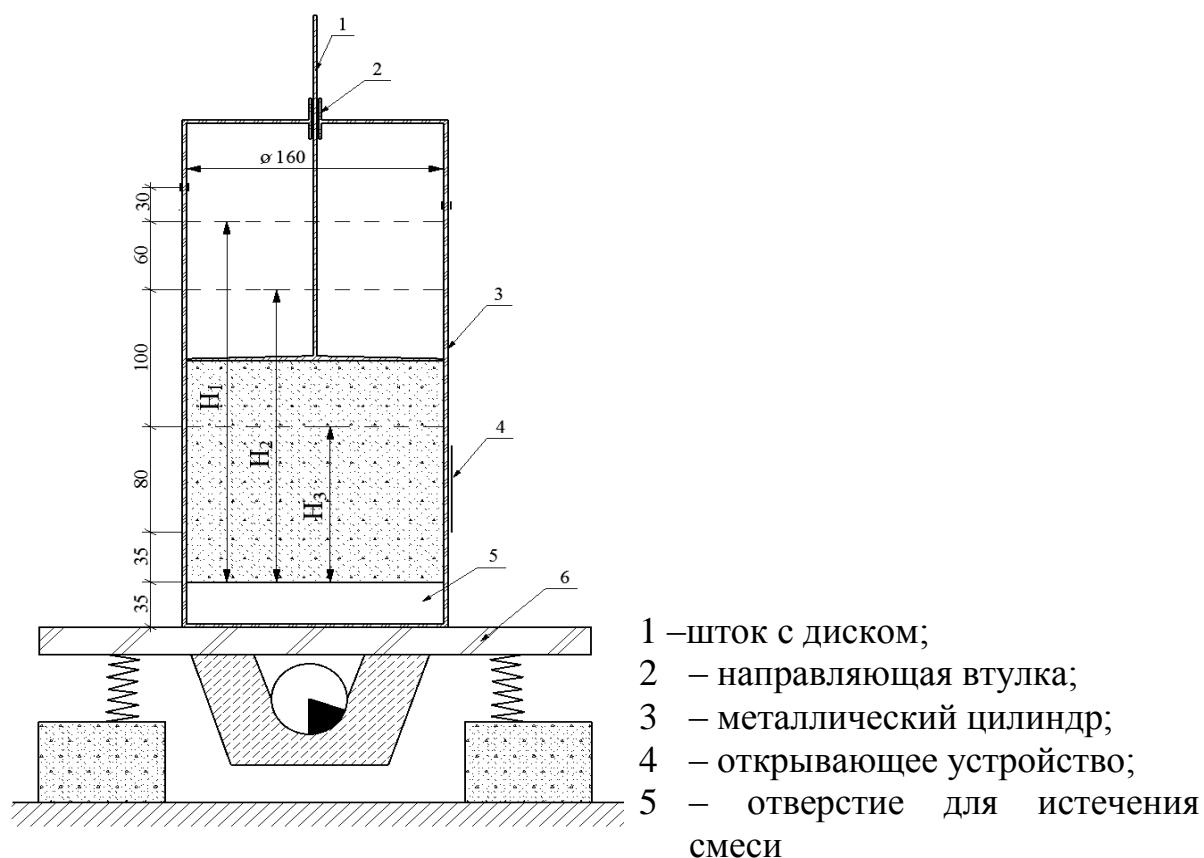


Рисунок 3.10 – Схема прибора для определения истечения ремонтной смеси

Данный прибор перед испытанием смачиваем внутри водой, ставим на

виброплощадку и укладываем в 3 приема формовочную смесь, при этом каждый раз уплотняем ее штыковкой по 25 раз от периферии к центру. Далее при закрытом открывающем устройстве включаем виброплощадку и наблюдаем пока не наступит полное уплотнение (в отверстиях в пригрузе появится цементное молоко) открываем открывающее устройство и фиксируем продолжительность установившегося течения формовочной смеси.

Процесс течения виброуплотняемой исследуемой формовочной смеси из отверстия можно выразить следующим уравнением:

$$\mu = \gamma \cdot T \frac{d \cdot \omega \cdot g}{24 \cdot S \cdot \ln\left(\frac{H+P}{\gamma}\right) H_3/H_2} \quad (3.4)$$

где  $\mu$  – структурная вязкость,  $\frac{\text{Па}}{\text{с}}$ ;

$\gamma$  – средняя плотность бетонной смеси,  $\text{г/см}^3$ ;

$T$  – время течения бетонной смеси, сек;

$d$  – приведенный диаметр отверстия, см;

$\omega$  – площадь отверстия,  $\text{см}^2$ ;

$g$  –  $981 \text{ см/с}^2$ ;

$S$  – площадь поперечного сечения прибора,  $\text{см}^2$  ;

$p$  – пригруз  $2,5 \text{ г/см}^2$

$H$  – высота уровня смеси в приборе, см

Далее исследовалась прочность сцепления ремонтных составов из мелкозернистых бетонных смесей с существующим основанием, основным условием адгезии должно быть молекулярное притяжение двух фаз.

Прочность контактной зоны «старый – новый» бетон будет определяться несколькими факторами:

- энергетическими связями, возникающими на поверхности раздела двух фаз;

- присутствия химически активных групп в составе новой

бетонной смеси;

- площади соприкосновения двух фаз;
- состояния старой поверхности;
- химического состава контактирующих фаз.

Сущность теории адгезии двух контактирующих тел, заключается в том, что подвижная модифицированная ремонтная бетонная смесь впитывается в капилляры и поры существующего основания, где в дальнейшем затвердевает. Следовательно, прочность сцепления двух поверхностей будет зависеть от пористости старого бетона и прочности нового. С химической точки зрения адгезионная прочность определяется химическим взаимодействием существующего и нового оснований.

Немаловажным свойством в системе контакт «старый – новый» бетон является характер разрыва в контактной зоне. Разрыв адгезионного соединения протекает по следующим зонам (рисунок 3.11):

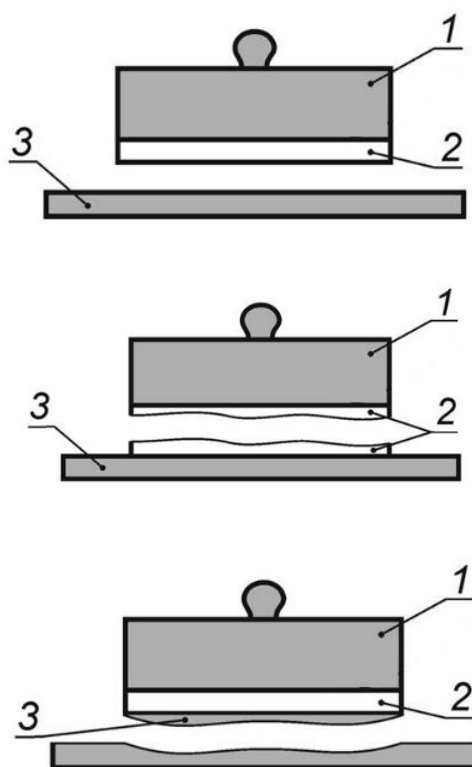


Рисунок 3.11 – Возможные виды разрыва в зоне контакта поверхностей

1- стальная пластина; 2 – клей полимерный; 3 – ремонтный бетон; 4 – существующее основание

по границе соприкосновения двух поверхностей, когда оба основания обладают прочной структурой;

- по массиву ремонтного бетона, когда прочность нового основания меньше, прочности существующего;

– по старому основанию, когда оно слабее нового основания.

Адгезионная прочность затвердевших ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов измерялась по ГОСТ 28574-90 адгезиметром Е142, по усилию отрыва в МПа стальной пластины размером 5x5 см, приклеенной исследуемым составом к образцу высокопрочного бетона размером 10x10x10 см.

При исследовании реологических свойств ремонтных составов из мелкозернистых смесей на тонкомолотых вяжущих было проведено математическое планирование эксперимента. Факторами варьирования посчитали выбрать самые главные компоненты: водоцементное отношение, расход ТМВ-75 и доля барханного песка в смеси заполнителя.

Так же в составы ремонтных модифицированных составов входил карбоксилатный суперпластификатор Sika Viscocrete 5 New в дозировке 1,2 % от массы цемента, он оставался постоянным. Реологические свойства определялись именно на этой полимерной добавке из-за дороговизны полиакрилатной дисперсии. Изменяя выбранные факторы можно получать ремонтные составы из мелкозернистой смеси разной подвижности и разной прочности.

В таблице 3.7 и 3.8 показаны факторы и интервалы их варьирования и матрица планирования эксперимента.

Таблица 3.7 – Факторы и уровни их варьирования входных переменных

№ пп	Факторы	+1	0	-1	Интервал варьирования
1	В/Ц (X1)	0,4	0,35	0,30	0,05
2	Расход ТМВ-75 (X2)	550	425	300	125
3	Доля барханного песка в смеси заполнителя (X3)	0,35	0,3	0,25	0,05



Таблица 3.8 – Матрица планирования

№ пп	Кодовые значения			Натуральные значения		
	X1	X2	X3	В/Ц	ТМВ-75	Доля барханного песка
1	+	+	+	0,4	550	0,35
2	–	+	+	0,3	550	0,35
3	+	–	+	0,4	300	0,35
4	–	–	+	0,3	300	0,35
5	+	+	–	0,4	550	0,25
6	–	+	–	0,3	550	0,25
7	+	–	–	0,4	300	0,25
8	+	–	+	0,4	300	0,35
9	+	0	0	0,4	425	0,3
10	–	0	0	0,3	425	0,3
11	0	+	0	0,35	550	0,3
12	0	–	0	0,35	300	0,3
13	0	0	+	0,35	425	0,35
14	0	0	–	0,35	425	0,25
15	0	0	0	0,35	425	0,3
16	0	0	0	0,35	425	0,3
17	0	0	0	0,35	425	0,3

Исследование комплексного влияния минеральных и химических добавок на реологические характеристики модифицированных формовочных смесей дает возможность представить картину изменения таких показателей, как структурная вязкость, предельное напряжение сдвигу, адгезионная прочность исследуемых композиций, прочность на сжатие. Ремонтные модифицированные составы и результаты испытаний приведены в таблице 3.9 и 3.10.

Таблица 3.9 – Ремонтные составы по матрице планирования

№	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				
	Вода	ТМВ-75	Барханный песок	Отсев дробления	Sika Viscocrete 5 New
1	220	550	542	1008	4,9
2	165	550	549	1021	4,9
3	120	300	556	1034	2,7
4	90	300	567	1053	2,7
5	220	550	390	1170	4,9
6	165	550	393	1182	4,9
7	120	300	396	1188	2,7
8	120	300	560	1040	2,7
9	170	425	474	1106	3,8
10	128	425	478	1117	3,8
11	193	550	466	1089	4,9
12	105	300	483	1127	2,7
13	149	425	568	1056	3,8
14	149	425	403	1210	3,8
15	149	425	481	1124	3,8

Математическое планирование результатов исследований привело к получению многофакторных моделей, в зависимости от входных параметров:

структурная вязкость:

$$\mu = 54,53 + 7 X_1 - 7,07 X_2 + 292,5X_3 - 549,8X_1^2 - 0,0004 X_2^2 + 531,4 X_3^2 - 0,3 X_1X_2 + 245 X_1X_3 - 0,26 X_2X_3$$

предельное напряжение сдвигу:

$$\tau = 0,11 - 0,0015X_1 - 0,003X_2 + 0,127X_3 - 0,256X_1^2 - 0,00000015 X_2^2 + 0,23 X_3^2 - 0,00011X_1X_2 + 0,089 X_1X_3 + 0,0001 X_2X_3$$

на прочность на сжатие в возрасте 28 суток:

$$R_{28} = 48,38 - 0,0045 X_1 + 0,0025 X_2 - 4,877X_3 + 13,55 X_1^2 - 0,000087 X_2^2 - 13,07 X_3^2 + 0,00171 X_1X_2 - 8,414 X_1X_3 + 0,00849 X_2X_3$$

Таблица 3.11 – Реологические свойства ремонтных составов на ТМВ-75

№ составов из табл.4.10	Средняя плотность, г/см <sup>3</sup>	Осадка конуса, см	Жесткость, с	Адгезионная прочность, МПа	Предельное напряжение сдвигу, МПа	Структурная вязкость, Па·с	Прочность на сжатие, МПа 28 сутки
1	2,32	23	-	1,10	0,008	35	56,2
2	2,28	17	-	0,89	0,030	42	62,2
3	2,01	-	10	0,71	0,260	74	36,2
4	2,01	-	30	0,74	0,410	110	38,6
5	2,33	24	-	0,99	0,009	34	58,3
6	2,29	18	-	0,96	0,028	44	64,1
7	2,00	-	5	0,60	0,160	56	39,1
8	2,02	-	15	0,54	0,320	84	36,4
9	2,17	16	-	0,78	0,028	44	54,2
10	2,13	4	-	0,65	0,060	52	55,7
11	2,29	19	-	0,97	0,027	38	57,9
12	2,04	-	10	0,72	0,190	70	34,3
13	2,19	9	-	0,84	0,046	46	44,3
14	2,18	8	-	0,82	0,049	45	43,7
15	2,17	9	-	0,84	0,047	47	44,5

Примечание: в составе 15 среднее арифметические значения от трех последних составов из таблицы 3.8

На рисунках 3.12 – 3.15 показаны зависимости реологических свойств: структурной вязкости и предельного напряжения сдвигу модифицированных ремонтных смесей от В/Ц и расхода тонкомолотого вяжущего ТМВ-75.

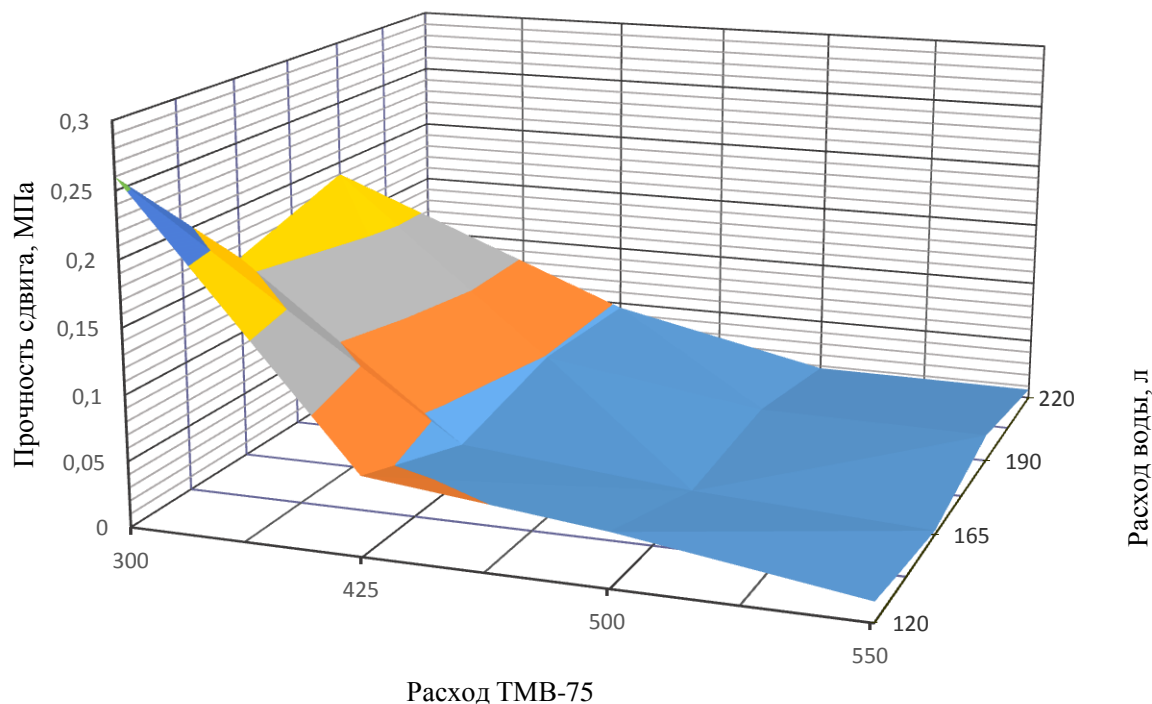


Рисунок 3.12 – Зависимость прочности сдвига ремонтных составов от расходов ТМВ-75 и водопотребности смеси

Установлено, что в ремонтных смесях с повышением водоцементного отношения и расхода вяжущего значения структурной вязкости и предельного напряжения сдвигу снижаются, а прочность сцепления зависит от технологических свойств мелкозернистой смеси.

Математическое планирование эксперимента установило, что использование тонкомолотых вяжущих в комплексе с суперпластификаторами позволило получать ремонтные смеси различной удобоукладываемости, варьируя водоцементным отношением можно получать как жесткие смеси, так и подвижные с маркой от П1 до П5. Высокая адгезионная прочность ремонтных составов установлена на образцах с расходом тонкомолотого вяжущего  $550 \text{ кг/м}^3$ , с маркой по подвижности П4, отмечается схема 3 на рисунке 3.11, у более жестких смесей показатели

прочности сцепления на 35% меньше, разрыв наблюдается по схеме 2, что означает, что прочность нового основания меньше, прочности существующего.

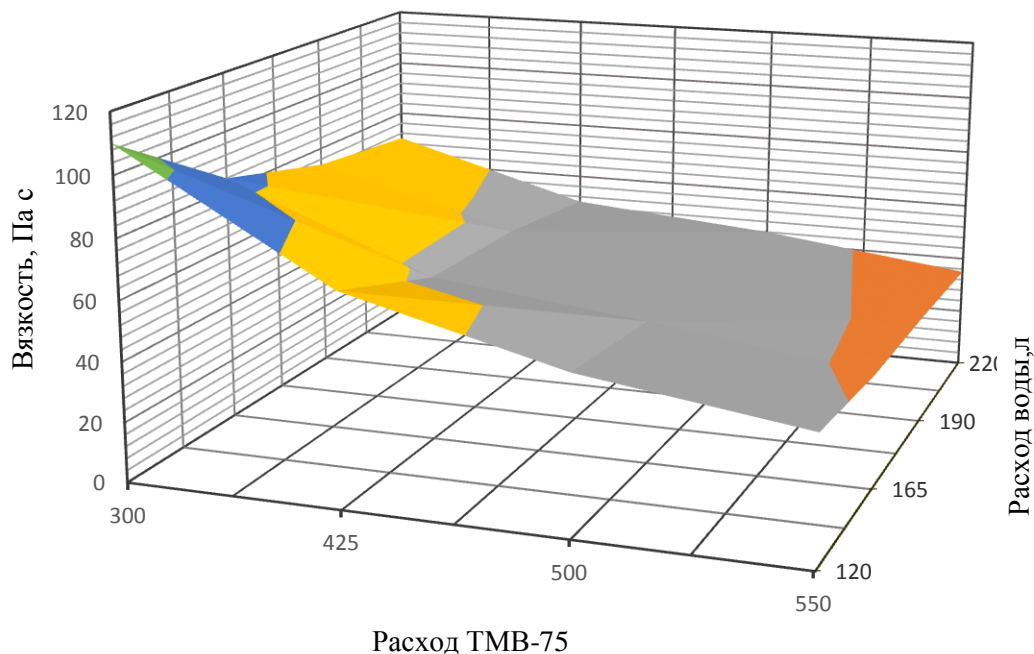


Рисунок 3.13 – Зависимость структурной вязкости ремонтных составов от расхода ТМВ-75 и водопотребности смеси

Вязкость уменьшается с повышением осадки конуса, прочность бетона зависит от многих факторов, с увеличением плотности ремонтных смесей и адгезионной прочности она увеличивается.

Акриловые дисперсии АКРЭМОС 101 являются довольно дорогим материалом, поэтому для изучения комплексного влияния тонкомолотых вяжущих на барханных песках и акриловых сополимеров с катализатором отверждения метилсиликонатом натрия ГКЖ-11 на прочность сцепления предлагаемого ремонтного модифицированного состава с образцами из высокопрочного бетона (ГОСТ 28574-90) были разработаны следующие смеси (таблица 3.12). Дозировка акрилового сополимера составила 18 % от массы цемента, а ГКЖ-11 10 % от массы полиакрилата. Результаты испытаний приведены на рисунке 3.14.

Таблица 3.12 – Ремонтные составы на акриловой дисперсии

№	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>					
	Вода	ТМВ-75	Барханный песок	Отсев дробления	АКРЭМОС 101	ГКЖ-11
1	137	550	542	1008	99	9,9
2	106	425	549	1021	76	7,6
3	81	300	556	1034	54	5,4

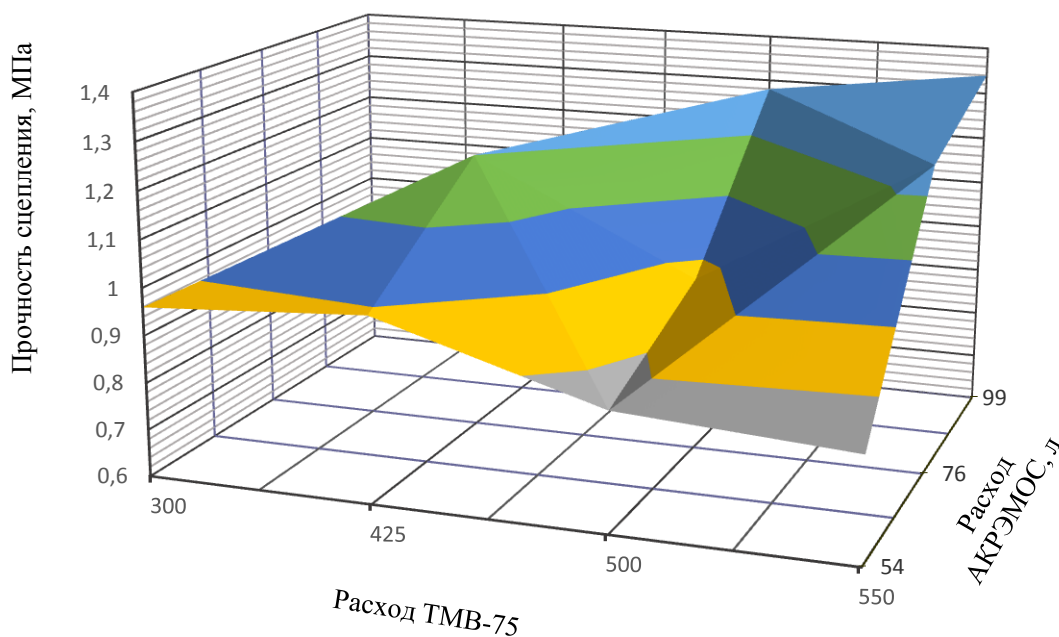


Рисунок 3.14 – Зависимость прочности сцепления ремонтных составов от расходов вяжущих

Проведенные исследования показали, что модификация ремонтных составов акриловой дисперсией АКРЭМОС 101 значительно повышает адгезионную прочность предлагаемых и существующих бетонов, разрыв адгезионного основания произошел по старому основанию, что означает, что прочность ремонтных составов выше прочности "старого" бетона. Прочность сцепления увеличилась при расходе ТМВ-75 – 550 кг/м<sup>3</sup> и полимерной составляющей 18 % от массы цемента, при дальнейшем повышении дозировки акриловой дисперсии, прочность сцепления снижается.

Объяснению полученному эффекту служат свойства полимеров, такие, как высокая адгезия и аутогезия.

Аутогезия полиакриловой дисперсии проявляется в способности глобул твердой составляющей полимера самослипаться при разрушении, то есть эффект пленкообразования. И это свойство зависит от клеящей способности полимера, чем она выше, тем сильнее происходит соединение продуктов гидратации портландцемента и частиц заполнителя. Таким образом, следует вывод, что акриловая дисперсия АКРЭМОС 101 является полимером с полярной структурой, обладающим высокими адгезионными свойствами.

#### **3.4.4 Исследование сохраняемости ремонтной модифицированной мелкозернистой смеси**

Сохраняемость или жизнеспособность является важной характеристикой для ремонтных составов, так как возможность регулировать процессом твердения, в зависимости от климатических или производственных условий вызвана необходимостью, предъявляемой к современным модифицированным композициям. Этот показатель связан с сохранением полученных технологических качеств смесей в течении длительного (заданного) времени.

Сохраняемость исследуемых ремонтных составов исследовалась по подвижности формовочной смеси, модифицированной поликарбоксилатными добавками Sika Viscocrete 5 New и «Хидетал-ГП-9» при оптимальной дозировке обеих 1,2 % от массы цемента и акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 с расходом 18 % от массы цемента в комплексе с катализатором отверждения метилсиликонатом натрия 10 % от массы дисперсии.

Ремонтные составы из мелкозернистой смеси приготавливались из ТМВ-75 и портландцемента с микрозаполнителем из барханных песков  $S_{уд} = 410 \text{ м}^2 / \text{кг}$  ( $100 \text{ кг}/\text{м}^3$ ), расход вяжущего составил  $530 \text{ кг}/\text{м}^3$ , расход заполнителя  $1510 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Расход воды в случаях с карбоксилатами оставался

постоянным и составил  $190 \text{ л/м}^3$ , при использовании полимерной составляющей АКРЭМОС 101 содержание воды в смеси составило  $132 \text{ л/ м}^3$ . Заданная марка по удобоукладываемости была П4-П5. Изучение влияния карбоксилатных Sika Viscocrete 5 New и «Хидетал-ГП-9» при оптимальной дозировке обеих 1,2 % от массы цемента и акриловых АКРЭМОС 101 полимерных добавок показано на рисунке 3.15.

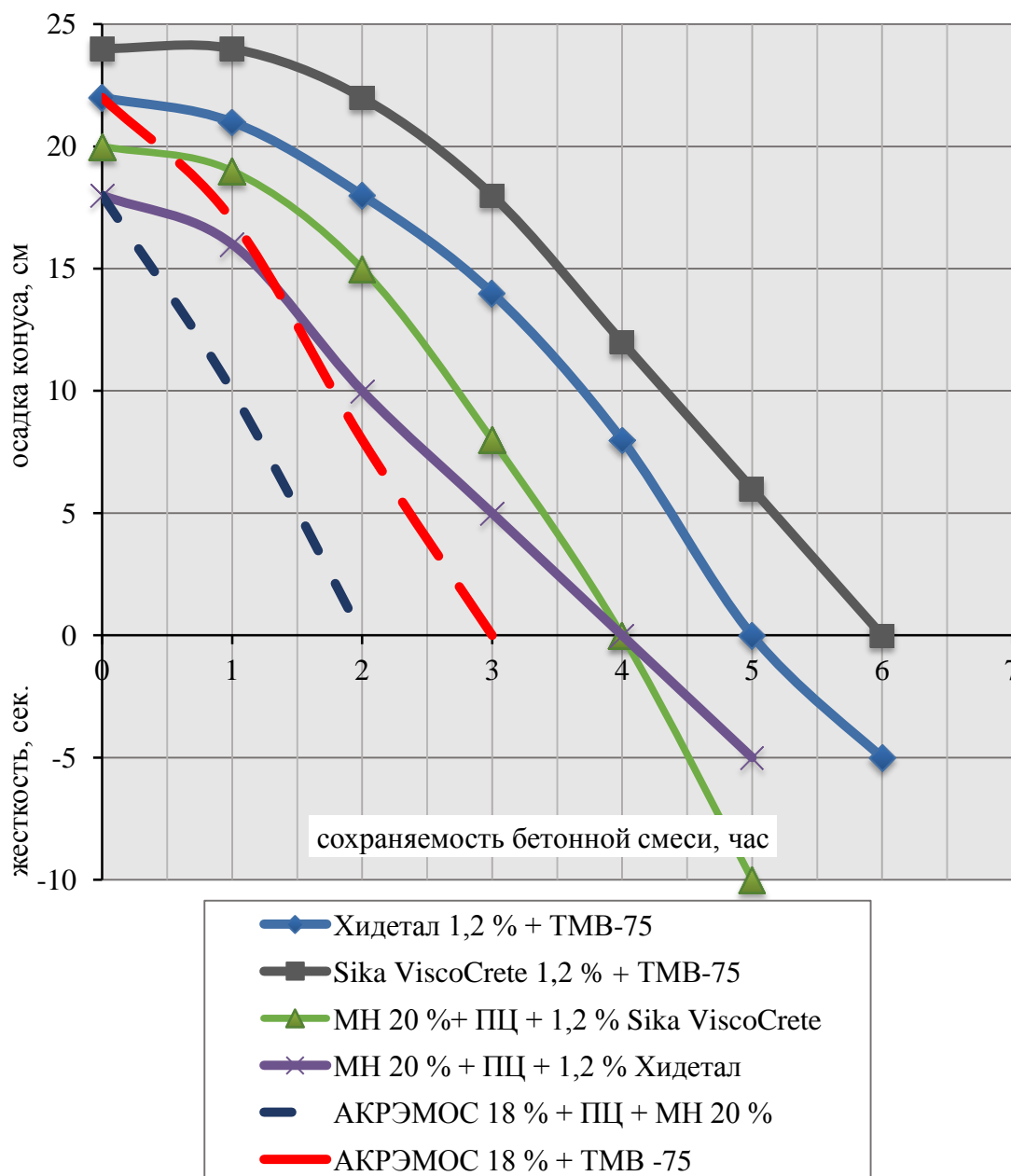


Рисунок 3.15 – Зависимость сохраняемости ремонтной смеси от вида применяемых добавок



Анализируя результаты испытаний, можно отметить, что все предлагаемые ремонтные составы ведут себя по-разному. Комплексное использование ТМВ-75 и суперпластификатора Sika Viscocrete 5 New сохраняет жизнеспособность формовочной смеси на 5-6 часов осадка конуса показала 0-6 см. Заданная марка по удобоукладываемости П5 сохраняется в течение 3 часов. Объяснить это можно суммарным действием химических добавок разного механизма действия, так как при использовании тонкодисперсного микронаполнителя из барханных песков сохраняемость смеси составила всего 4 часа, через 5 часов это уже смесь с маркой по удобоукладываемости Ж2. Добавка Хидетал-ГП-9 при совместном использовании с ТМВ-75 в течение 4 часов имеет осадку конуса 7 см, но следующие 1,5 часа смесь превращается в жесткую с маркой удобоукладываемости Ж1. Аналогично ведет себя Хидетал-ГП-9 при использовании тонкодисперсного микронаполнителя из барханных песков сохраняемость смеси составила всего 3-4 часа.

Ремонтные смеси с использованием акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 и метилсиликоната натрия совместно с ТМВ-75 ведут себя совершенно по-другому, необходимо отметить, что сохраняемость смеси составляет всего 3 часа, через 3 часа ремонтная смесь, модифицированная полимером, превращается из смеси марки П5 в смесь марки П1. Это качество необходимо учитывать при проведении срочных ремонтных работ бетонных и железобетонных элементов зданий. При использовании акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 и метилсиликоната натрия совместно с тонкодисперсным порошком барханного песка сохраняемость смеси уменьшается до 2 часов. Сравнивая результаты совместного использования полимерной акриловой дисперсии с тонкомолотым вяжущим и тонкодисперсным порошком барханного песка, можно заметить, что во втором случае процесс твердения смеси начинается быстрее, а в первом случае пластифицирующая добавка С-

З в составе ТМВ-75 препятствует процессам полимеризации и поликонденсации полимерной фазы в структуре твердеющей системы.

Применение в ремонтных составах дорожных карбоксилатных и акрилатных полимерных составляющих является экономически и технически обоснованным, эффективность данных добавок присутствует, можно регулировать процесс жизнеспособности ремонтных смесей варьируя компонентами модифицированной системы, к тому же есть возможность экономии портландцемента до 50 кг на 1 м<sup>3</sup> бетона.

### **3.5 Усадочные деформации ремонтных модифицированных составов на барханных песках**

Расширяющиеся цементы с характерным для них расширением в раннем возрасте предотвращают в дальнейшем негативные усадочные деформации. Описанная особенность позволит создавать такие ремонтные модифицированные составы, которые с успехом можно будет применять при ремонтных работах при восстановлении бетонных и железобетонных изделий, таких как, заделка раковин, сколов, выбоин, дефектов, трещин и т.д.

Расширяющиеся цементы и добавки с расширяющимся эффектом, твердеют в воде и на воздухе, обеспечивают увеличение и уплотнение объема, а по окончании расширения, цементный камень приобретает самоупрочнение, и это свойство так же важно при производстве ремонтных работ.

Возможность регулирования собственными деформациями, то есть деформациями, возникающими без приложения каких-либо внешних механических воздействий, является необходимостью ремонтных составов из мелкозернистых бетонов.

Собственные деформации бывают двух типов: безусловные и вынужденные [79, 87]. Первые из них возникают в начальный период структурообразования бетонной смеси при протекании физико-химических

процессов, и продолжаются до конца гидратационных процессов в бетоне. Собственные вынужденные проявляются, когда на бетоне воздействуют различные факторы окружающей среды, как правило, температурные или влажностные.

Конечно же, для ликвидации усадочных деформаций, по мнению многих ученых, необходимо использование в ремонтных составах безусадочных, расширяющихся вяжущих и добавок.

В работе [115, 116] установлено, что расширяющаяся добавка способствует снижению усадочных деформаций при усадке, твердеющего бетона во влажностных условиях, что важно для ремонта дефектов конструкций. Известно, что химическое расширение не может предотвратить усадочные деформации бетона, твердеющего бетона во влажностных условиях, так как протекание этих процессов не совпадает во временных интервалах, но снизить значение растягивающих напряжений возможно в тех случаях, если композит в этих условиях твердения будет находиться под действием самонапряжения. Это состояния можно сравнить с эффектом предварительного натяжения стальной арматуры в железобетонных изделиях. Достижению эффекта самонапряжения способствует использование расширяющейся добавки при взаимном протекании процессов формирования прочности и объемного расширения твердеющего цементного камня. Этот эффект найдет реализацию в ограждающих конструкциях, работающих в условиях переменных температур, так как расширяющаяся добавка повысит морозостойкость бетона, когда компенсирую объемные расширения мы устраняем усадочные деформации.

Таким образом, для управления деформационными свойствами бетонных композитов необходимо использование расширяющихся добавок, помимо готовых цементов для этого же назначения, которые позволят создавать мелкозернистые бетоны с эффектом расширения, самонапряжения или безусадочности.

К тому же необходимо заметить, что предпочтение отдается разработанным расширяющимся добавкам, а не готовым расширяющимся и напрягающимся цементом заводского приготовления, и это связано с рядом положительных моментов, обеспечивается определенное качество и стабильность свойств ремонтного модифицированного состава из мелкозернистого бетона, возможность корректировки состава композиции в зависимости от условий эксплуатации конструкции, использование непосредственно во время производства ремонтного состава. Изготовленные на таких добавках расширяющиеся и безусадочные смеси помогут заделывать трещины, дефекты, швы и другие ремонтные задачи.

В работе исследовались усадочные деформации ремонтных составов, модифицированных комплексным использованием тонкомолотых вяжущих с минеральными добавками и современных эффективных полимерных компонентов, так как добавка двуводного гипса в систему многокомпонентного вяжущего на барханных песках с добавлением ПАВ не изучена. В качестве расширяющегося компонента был применен двуводный гипс, который в совместном использовании с вибромеханохимически активированным вяжущим на барханном песке проявит эффект расширения и предотвратит в дальнейшем усадочные деформации.

Деформативные изменения ремонтного модифицированного состава из мелкозернистого бетона определялись на образцах - призмах размерами 40x40x160 мм. Было исследовано 7 составов модифицированных мелкозернистых бетонов на барханных песках, результаты испытаний приведены в таблице 3.12.

Изготовленные образцы – призмы в течении суток выдерживались в климатической камере при температуре +20 °С и относительной влажности 95 %. Далее образцы распалубливались и 7 суток твердели на воздухе накрытые влажной тканью при температуре +20 °С, следующие 3 суток образцы погружались в сосуд с водой где и хранились до испытания.

На приборе УБ-40 определялись усадочные и линейного расширения деформации образцов-призм с поперечным сечением размерами 40x40 мм по ГОСТ 24544-81.

Таблица 3.12 – Рецептуры и результаты определения усадочных деформаций ремонтных модифицированных составов на барханных песках

№ состава	Расход материалов бетона, кг/м <sup>3</sup>										В/Ц	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Деформации образцов, мм/м в возрасте сут.			Прочность на сжатие 10сут, МПа
	Ц	ТМВ-75	АКРЭМОС 101	ГКЖ-11	ФЗ	МН	Хидетал	Sika Viscocrete	Двуводный гипс	В			1	3	10	
1	430	-	-	-	1510	100	6	-	-	189	0,44	2215	0,017	-0,006	-0,014	50,4
2	430	-	-	-	1510	100	-	6	-	180	0,42	2225	0,001	-0,005	-0,018	54,5
3	420	-	-	-	1520	90	-	6	15	200	0,48	2230	0,004	0,009	0,012	52,8
4	420	-	77	7	1520	90	-	-	-	117	0,28	2230	0,014	-0,013	-0,016	55,7
5	-	530	-	-	1510	-	-	5	-	164	0,31	2214	0,002	-0,004	-0,012	65,3
6	-	530	-	-	1510	-	5	-	-	175	0,33	2212	0,003	-0,008	-0,011	63,1
7	-	520	-	-	1520	-	-	5	15	182	0,35	2216	0,005	0,016	0,025	68,6
8	-	520	94	9	1520	-	-	-	-	130	0,25	2265	0,010	-0,01	-0,014	70,1
9	540	-	-	-	1400	-	-	-	-	292	0,54	2200	0,006	-0,022	-0,032	47,0

**Примечание:** ТМВ-75 – тонкомолотое вяжущее совместная виброактивация в течение 10 минут (ПЦ 74 % + барханный песок 25 % + С-3 – 1 %)  $S_{уд} = 480 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; ФЗ – фракционированный заполнитель, полученный обогащением отсеков дробления (60 %) барханными песками (40 %); МН –микронаполнитель, виброактивированный в течение 10 минут барханный песок  $S_{уд} = 410 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; АКРЭМОС 101 акриловая дисперсия расход 18 % от массы цемента; ГКЖ-11 метилсиликонат натрия расход 10 % от массы акриловой дисперсии; состав №8 - контрольный образец на кварцевом песке Червленского месторождения

Для определения прочностных показателей исследуемых ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона были изготовлены образцы кубы размером 3 см, которые твердели в климатической камере в течение 10 суток при температуре +20 °С и относительной влажности 95 %. Результаты исследований приведены в таблице 3.12 и на рисунке 3.15.

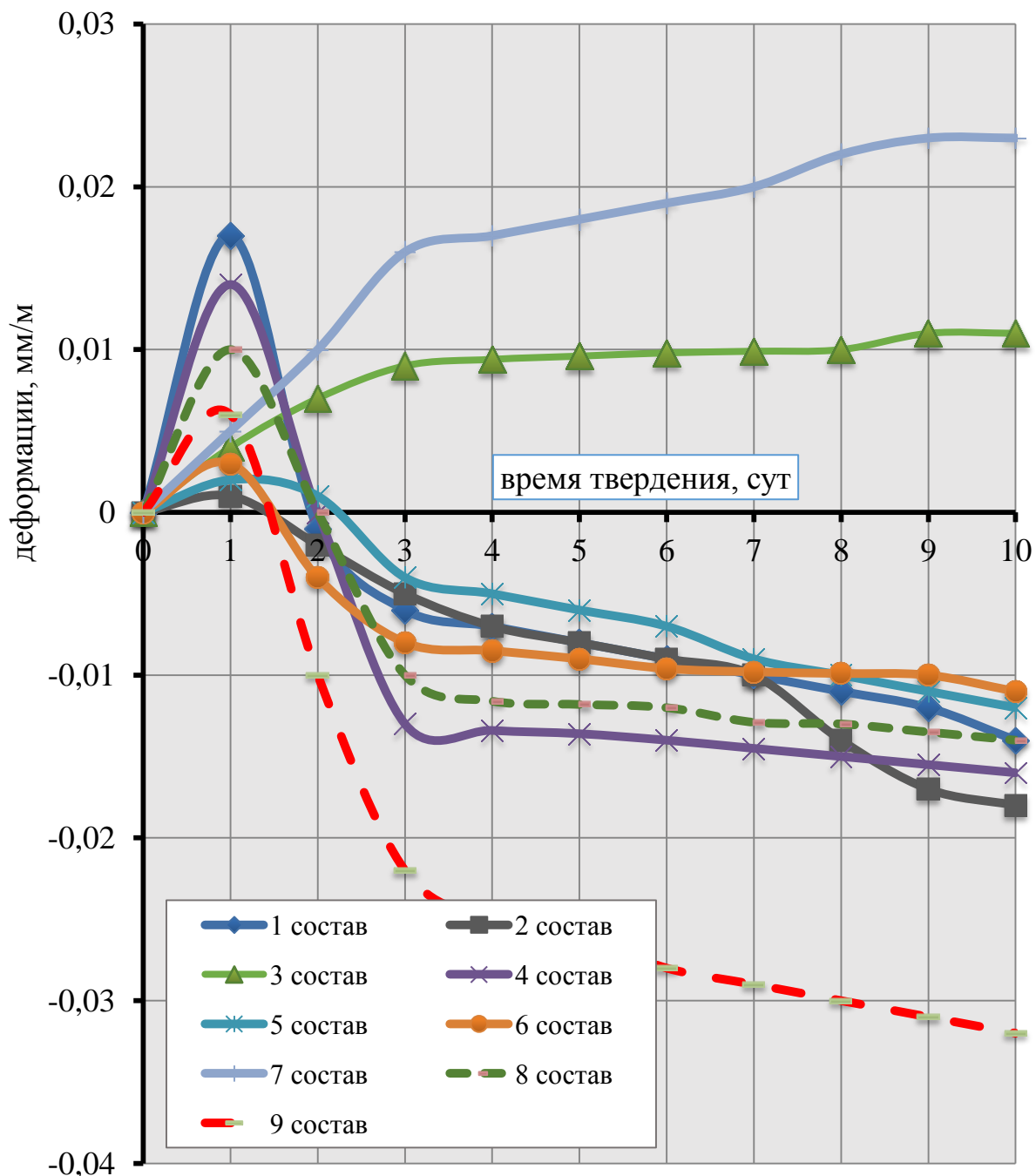


Рисунок 3.15 – Динамика развития деформаций в ремонтных модифицированных составах из мелкозернистого бетона

Результаты исследований показали, что в ремонтных модифицированных составах из мелкозернистого бетона с использованием добавки двуводного гипса в количестве 3 % от массы цемента четко отмечается расширяющий эффект, в составе №3 с комплексным использованием цемента, тонкодисперсного порошка из барханного песка и двуводного гипса деформации расширения составили на 10 сутки 0,012 мм/м. В составе №7 на основе тонкомолотого вяжущего и двуводного гипса расширяющий эффект выше 0,025 мм/м, объяснению этому явлению служит образование в первые сутки твердения волокон гидросульфоалюминатов и гидрокарбосульфоалюминатов кальция, способствующих быстрому процессу структурообразования и увеличению в объеме цементной матрицы.

Ремонтные составы с использованием ТМВ-75 и микронаполнителя из барханных песков с карбоксилатными добавками Sika Viscocrete и Хидетал показали значения усадочных деформаций на 62 % меньше в сравнение с контрольными образцами на кварцевом песке. Усадочные деформации обусловлены уменьшением объема бетона из-за испарения из него воды.

Ремонтные составы с применением акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 и ГКЖ-11 показали усадочные деформации, эффекта расширения в данном случае не присутствует. Объяснить этот факт можно наличием полимера в данных ремонтных составах, в процессе срастания глобул образуется пленка, которая сжимается и стягивает скелет цементного камня, тем самым сокращая объем композита, повышаются усадочные деформации. В 10 суток твердения усадочные деформации присутствуют, далее этот процесс замедляется. Но в любом случае усадка образцов ремонтных составов с АКРЭМОС 101 меньше контрольных образцов на 56 %.

Полученная расширяющаяся добавка в состав которой входит портландцемент, барханный песок 25 % суперпластификатор С-3 1 % и двуводный гипс 3 % позволяет получать в ремонтные модифицированные составы с заданной деформацией, это свойство важно учитывать при производстве ремонтных работ.



### **3.6 Физико-механические свойства ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках**

Структура ремонтных составов из мелкозернистого бетона отличается высоким содержанием цементного камня, контактная зона «заполнитель – цементный камень» довольно развитая, даже незначительные колебания в составе отражаются на физико – механических свойствах цементного композита. Установлено, что для ремонтных составов из мелкозернистых бетонов характерна повышенная призмная прочность, пониженный модуль упругости, показатели трещиностойкости более высокие [68, 88, 89]. Использование фракционированного заполнителя, полученного смешиванием отсева дробления и барханных песков с фракцией выше 0,14 мм может как-то отразиться на прочностных и деформативных характеристиках бетона. Во многих работах [90, 92] установлено, что от гранулометрического состава и свойств заполнителя зависят прочностные показатели, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

Использование химических добавок существенно изменяют свойства мелкозернистого ремонтного бетона, снижая водопотребность бетонной смеси на 10 -15 % они способствуют увеличению модуля упругости на 12- 16 %. Но в работе [110, 112, 117] установлено, что применение ЛСТ 0,8 % и выше от массы цемента отрицательно сказывается на процессах структурообразования, образующиеся кристаллогидраты небольшой формы и размеров, повышается воздухоовлечение, а это снижает деформативные показатели на 50 %.

Исследование прочностных и деформативных показателей осуществляли поступенчатым кратковременным нагружением изготовленных из соответствующих составов образцов-призм размером 10x10x40 см. Перед испытанием призмы центровали по оси, нагружали постепенно с промежутками по 5 минут, по 10 % от предполагаемой разрушающей нагрузки. Призмную прочность, модуль упругости и

коэффициент Пуассона определяли согласно ГОСТ 24452-80, количество образцов было по три призмы в каждом составе.

С помощью датчиков (рисунок 3.16) измеряли продольные  $\Delta \varepsilon_1$  и поперечные  $\Delta \varepsilon_2$  приращения деформаций призм на каждом этапе нагружения.

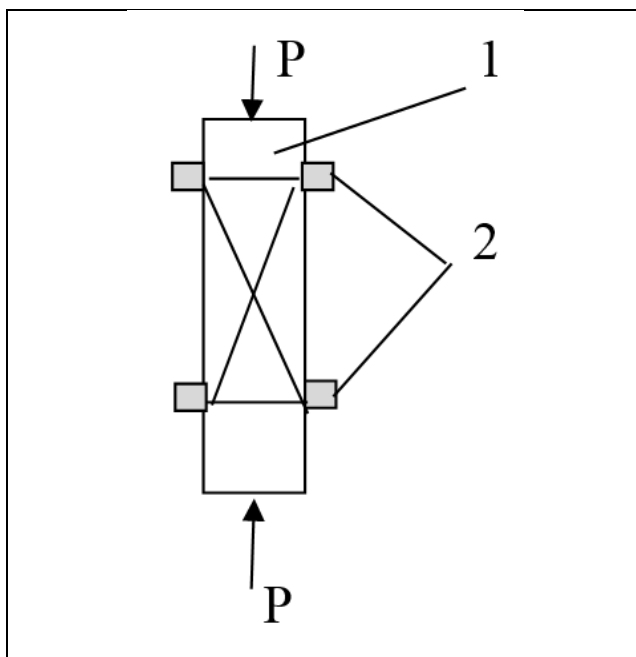


Рисунок 3.16 – Схема распределения датчиков (2) на бетонной призме (1)

В результате исследований определялись:

$$\text{– призменная прочность } R_{PP} = \frac{P_P}{F} \quad (3.1)$$

где  $P_P$  – разрушающая нагрузка, Н;

$F$  – среднее значение площади поперечного сечения образца, мм<sup>2</sup>.

$$\text{– модуль упругости } E_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{\varepsilon_{1y}} \quad (3.2)$$

где  $\sigma_1 = P_1/F$  – приращение напряжения от условного нуля до уровня внешней нагрузки, равной 30% от разрушающей;

$P_1$  – соответствующее приращение внешней нагрузки;

$\varepsilon_{1y}$  – приращение упругомгновенной относительной продольной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки  $P_1 = 0,3P_p$  и замеренное в начале каждой ступени ее приложения.

$$\text{– коэффициент Пуассона } \mu = \frac{\varepsilon_{2y}}{\varepsilon_{1y}} \quad (3.3)$$

где  $\varepsilon_{2y}$  – приращение упругомгновенной относительной поперечной деформации образца, соответствующее уровню нагрузки  $P_1 = 0,3P_p$  и измеренное в начале каждой ступени ее приложения.

Значения  $\varepsilon_{1y}$  и  $\varepsilon_{2y}$  определяли по формулам:

$$\varepsilon_{1y} = \varepsilon_1 - \sum \varepsilon_{1n} \quad (3.4)$$

$$\varepsilon_{2y} = \varepsilon_2 - \sum \varepsilon_{2n} \quad (3.5)$$

где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – приращения полных относительных продольных и поперечных деформаций образца, соответствующие уровню нагрузки  $P_1 = 0,3P_p$  и замеренные в конце ступени ее приложения;

$\sum \varepsilon_{1n}$  и  $\sum \varepsilon_{2n}$  – приращения относительных продольных и поперечных деформаций быстронатекающей ползучести, полученные при выдержках нагрузки на ступенях нагружения до уровня нагрузки  $P_1 = 0,3P_p$ .

Значения относительных деформаций  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  определяли по формулам:

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta l_1}{l_1} \quad (3.6)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\Delta l_2}{l_2} \quad (3.7)$$

где  $\Delta l_1$  и  $\Delta l_2$ , – абсолютные приращения продольной и поперечной деформаций образца, вызванные соответствующим приращением напряжений;

$l_1$  и  $l_2$ , – фиксированные базы измерения продольной и поперечной деформации образца.

Результаты испытаний в таблицах 3.13, 3.14 и на рисунке 3.17.



Таблица 3.13 – Рецептуры и физико- механические свойства ремонтных модифицированных составов

№ состава	Расход материалов бетона, кг/м <sup>3</sup>										В/Ц	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на сжатие, МПа в возрасте сут.			
	Ц	ТМВ-75	АКРЭМОС 101	ГКЖ-11	ФЗ	МН	Хидетал	Sika Viscocrete	Двуводный гипс	В			R			R <sub>ПР</sub>
													3	7	28	
1	430	-	-	-	1510	100	6	-	-	189	0,44	2215	21,3	50,5	58,4	45,2
2	430	-	-	-	1510	100	-	6	-	180	0,42	2225	26,6	53,4	63,5	50,1
3	420	-	-	-	1520	90	-	6	15	200	0,48	2230	24,7	52,3	61,2	48,1
4	420	-	77	7	1520	90	-	-	-	117	0,28	2230	24,9	53,7	62,6	49,4
5	-	530	-	-	1510	-	-	5	-	164	0,31	2212	30,7	69,1	75,0	60,9
6	-	530	-	-	1510	-	5	-	-	175	0,33	2214	29,5	64,3	71,2	57,8
7	-	520	-	-	1520	-	-	5	15	182	0,35	2216	32,8	71,6	77,1	63,6
8	-	520	94	9	1520	-	-	-	-	130	0,25	2265	33,8	72,7	77,8	64,5
9	540	-	-	-	1400	-	-	-	-	292	0,54	2200	16,5	46,0	49,6	34,1

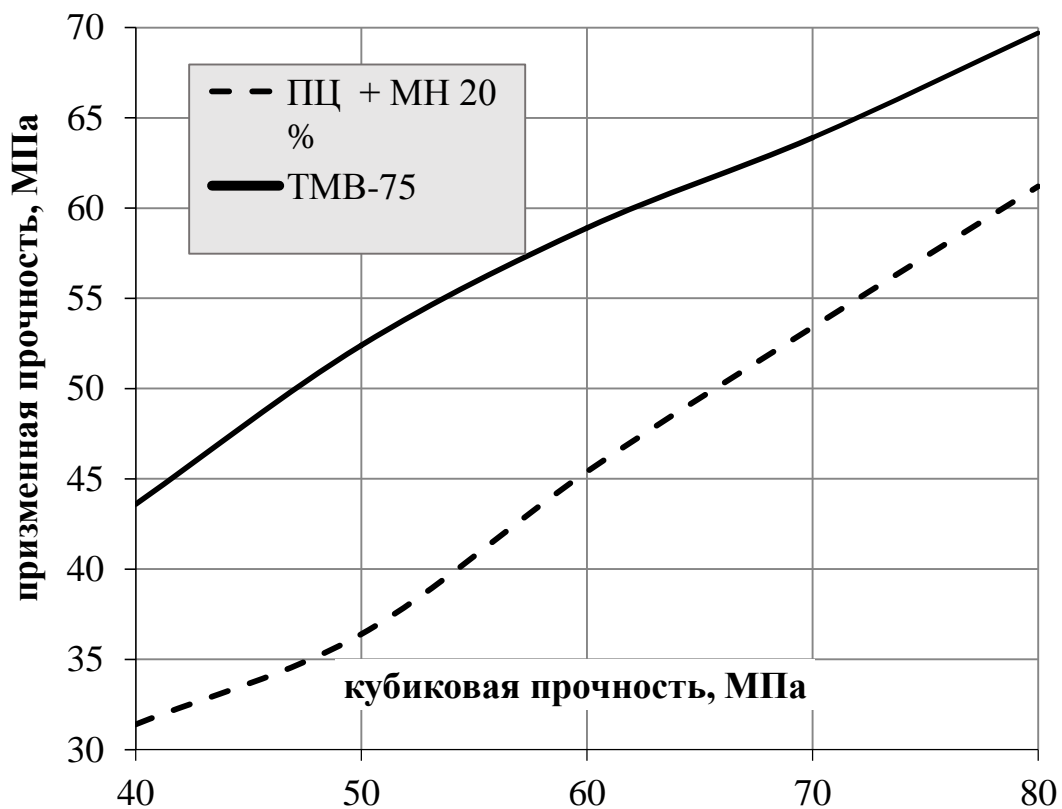
**Примечание:** ТМВ-75 – тонкомолотое вяжущее совместная виброактивация в течение 10 минут (ПЦ 74 % + барханный песок 25 % + С-3 – 1 %)  $S_{уд} = 480 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; ФЗ – фракционированный заполнитель, полученный обогащением отсеков дробления (60 %) барханными песками (40 %); МН – микронаполнитель, виброактивированный в течение 10 минут барханный песок  $S_{уд} = 410 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; АКРЭМОС 101 акриловая дисперсия расход 18 % от массы цемента; ГКЖ-11 метилсиликонат натрия расход 10 % от массы акриловой дисперсии; состав №8 - контрольный образец на кварцевом песке Червленского месторождения

Таблица 3.14 – Деформативные свойства ремонтных модифицированных составов

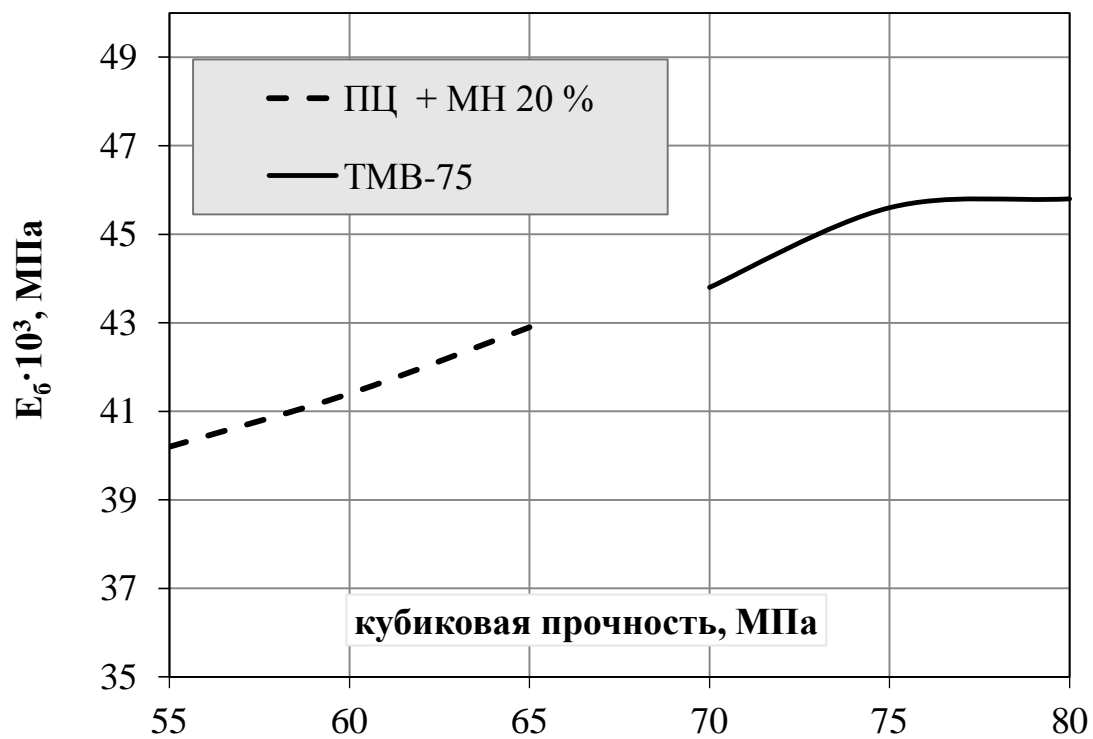
№ состава	$\frac{R_{\text{ПР}}}{R}$	$R_{\text{тб}}$ , МПа	$R_{\text{изг}}$ , МПа	$E_6 \cdot 10^3$ , МПа	Деформация $\varepsilon$ , мм/м		Коэффициент Пуассона $\mu$
					продольная $\varepsilon_1$	поперечная $\varepsilon_2$	
1	0,77	3,0	4,2	40,8	2,31	0,65	0,281
2	0,78	3,4	4,4	44,4	2,32	0,65	0,280
3	0,78	3,2	4,3	42,8	2,21	0,60	0,271
4	0,78	3,5	4,5	43,8	2,21	0,59	0,266
5	0,82	4,4	6,3	52,5	2,13	0,55	0,258
6	0,81	4,1	6,1	49,8	2,19	0,59	0,269
7	0,83	4,6	6,5	53,9	2,17	0,55	0,253
8	0,83	4,7	6,7	54,4	2,16	0,54	0,250
9	0,68	2,1	3,8	34,7	2,41	0,72	0,298

Результаты испытаний показали, что кубиковая прочность образцов ремонтных модифицированных составов №7 и 8 на основе комплексного использования тонкомолотых вяжущих, гипса и суперпластификатора Sika Viscocrete (1,4 % от массы цемента), АКРЭМОС 101 и ГКЖ-11 выше на 20 %, в сравнении с аналогичными образцами с применением тонкодисперсного порошка барханного песка. Призменная прочность так же у образцов этой категории выше на 21 %. Объяснению этому служит, то что совместное использование всех составляющих данной композиции способствует ускоренному формированию структуры и набору прочности. Мягкий минерал кальцит, содержащийся в барханном песке, в вибромеханоактивированном состоянии в присутствии клинкерных минералов и ПАВ становится активным центром кристаллизации и, вступая в реакцию с алюминатами кальция, образует гидрокарбоалюминаты кальция, а в присутствии гипса гидрокарбосульфалюминаты кальция, которые и способствуют повышению прочностных и деформативных свойств предлагаемых ремонтных составов.

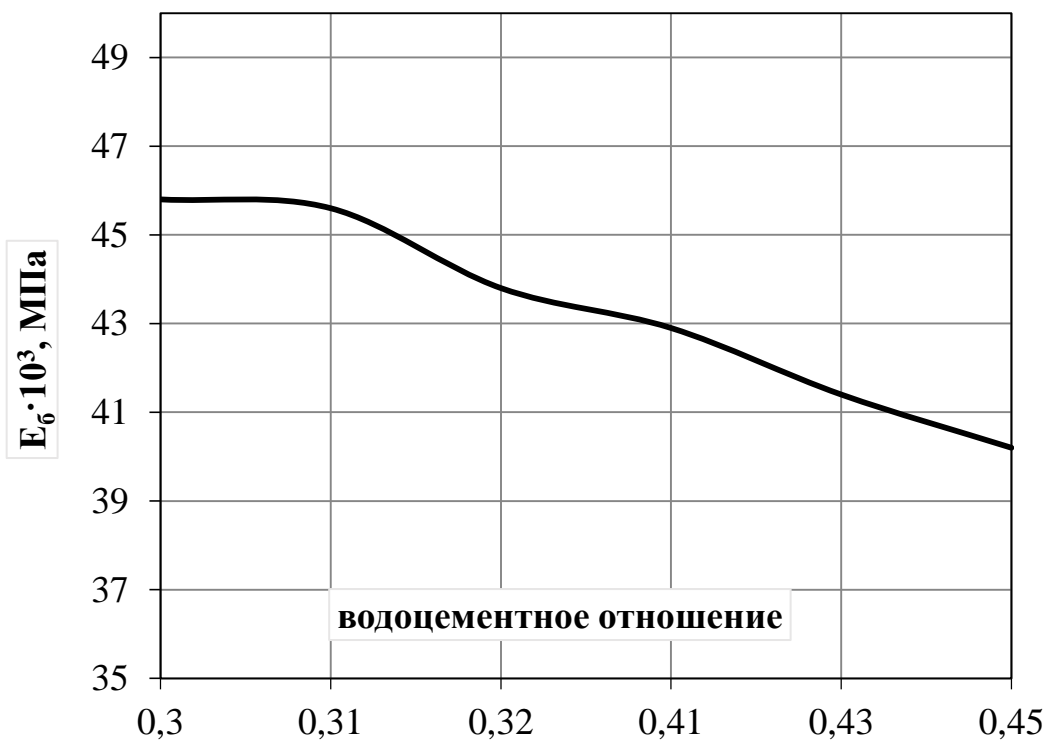
а)



б)



в)



г)

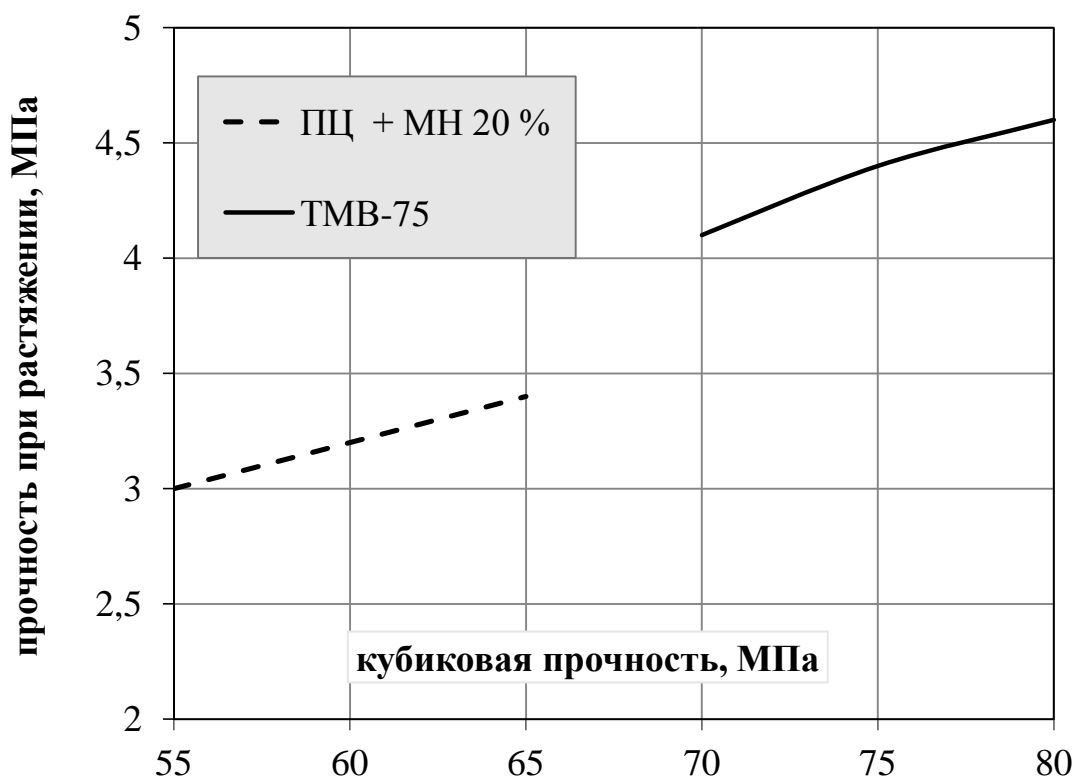


Рисунок 3.17 – Графики зависимости деформативных свойств ремонтных составов из мелкозернистых бетонов от различных факторов: а) зависимость кубиковой прочности от призмной; б) зависимость модуля упругости от кубиковой прочности; в) зависимость модуля упругости от водоцементного отношения; г) зависимость прочности на растяжение от кубиковой прочности



Результаты испытаний на физико-механические и деформативные характеристики ремонтных составов показали, что они практически не отличаются у составов №7 и 8. Отношение призмной прочности к кубиковой на образцах с комплексным использованием тонкомолотых вяжущих, гипса и суперпластификатора Sika Viscocrete (1,4 % от массы цемента) составляет 0,81 – 0,83, что соответствуют значениям тяжелых качественных бетонов (рисунок 3.17 а, б). Величина модуля упругости уменьшается с повышением водоцементного отношения, значения прочности при растяжении при изгибе предлагаемых составов повышаются с увеличением кубиковой прочности образцов (рисунок 3.17 в, г). Полученные значения близки к аналогичным величинам тяжелого бетона. Продольные и поперечные деформации у образцов с комплексным использованием тонкомолотых вяжущих, гипса и суперпластификатора Sika Viscocrete (1,4 % от массы цемента) значительно уменьшились по сравнению с контрольными образцами, конечно же это связано с использованием в составе вяжущего двуводного гипса, который является частью расширяющейся добавки и повышает деформативные свойства исследуемых бетонов. В ремонтных составах с использованием акриловой дисперсии, повышенные деформативные и прочностные показатели можно объяснить, тем, что полимерная фаза придает внутри цементного камня внутреннюю деформативность, создавая пленки в виде эластичных мембран на кристаллах портландцемента и заполнителя, перераспределяя появляющиеся напряжения при разрушении.

Полученные ремонтные модифицированные составы с высокими физико-механическими и деформативными показателями позволят повысить качество ремонтных работ и увеличить срок службы зданий и сооружений.

### **3.7 Эксплуатационные свойства ремонтных модифицированных составов на барханных песках**

#### **3.7.1 Водостойкость**

Бетонные и железобетонные конструкции в процессе эксплуатации находятся в постоянном контакте с внешними силами, и взаимодействие это осуществляется по различным механизмам, но чаще всего адсорбционный и коррозионно-химический. В зависимости от механизма влияния внешних сред на бетон, может происходить изменение его механических свойств: прочности и деформативности. Уровень воздействий окружающих факторов с бетоном определяется физико-механическими свойствами, составом, структурой и влажностью контактирующей системы. Простая вода, которая контактирует с бетоном в ходе каких-либо атмосферных явлений, является активным реагентом, не сравнивая с другими жидкими средами.

В работах [141, 157] изучалось влияние многих факторов на свойства бетона, и в частности, водостойкость, отмечается изменение этого показателя с непостоянством минералогического состава портландцемента. Средняя плотность и поровая структура, условия твердения и т.д. также воздействуют на коэффициент размягчения бетонов и изделий из них.

В данной работе исследуются предлагаемые ремонтные модифицированные составы из мелкозернистых бетонов на водостойкость. Изучается влияние тонкомолотого вяжущего, двуводного гипса, минерального порошка из барханных песков, полимерных карбоксилатных и акрилатных, барханного песка в качестве заполнителя на прочностные характеристики при изгибе и сжатии образцов-балочек размером 40x40x160 мм, насыщенных водой в течение 48 часов после 28 суточного возраста, при кратковременных испытаниях. Испытание образцов сразу после насыщения водой проводили согласно с ГОСТ 310.4-81, и в тоже время исследованию подвергались и контрольные образцы, твердевшие в нормальных условиях. Результаты испытаний показаны в таблице 3.15 и на рисунках 3.18, 3.19.

Таблица 3.15 – Результаты испытаний ремонтных модифицированных составов на водостойкость

№ состава	Расход материалов бетона, кг/м <sup>3</sup>										Водопоглощение, %	Прочность в возрасте 28 сут., МПа				Коэффициент размягчения	
	Ц	ТМВ-75	АКРЭМОС 101	ГКЖ-11	ФЗ	МН	Хидетал	Sika Viscocrete	Двуводный гипс	В		изгиб		сжатие		изгиб	сжатие
												сухие	мокрые	сухие	мокрые		
1	430	-	-	-	1510	100	6	-	-	189	5,6	4,2	3,6	57,7	50,2	0,88	0,87
2	430	-	-	-	1510	100	-	6	-	180	5,2	4,4	3,9	62,8	55,2	0,90	0,88
3	420	-	-	-	1520	90	-	6	15	200	5,3	4,3	3,8	61,7	54,9	0,90	0,89
4	420	-	77	7	1520	90	-	-	-	117	5,0	4,6	4,1	63,4	57,0	0,91	0,90
5	-	530	-	-	1510	-	5	-	-	175	4,4	6,1	5,5	70,9	63,8	0,91	0,90
6	-	530	-	-	1510	-	-	5	-	164	4,2	6,3	5,8	74,6	67,1	0,93	0,90
7	-	520	-	-	1520	-	-	5	15	182	4,1	6,5	6,0	76,5	70,4	0,95	0,92
8	-	520	94	9	1520	-	-	-	-	130	3,9	6,6	6,3	77,3	71,1	0,96	0,92
9	540	-	-	-	1400	-	-	-	-	292	9,1	3,8	2,9	48,2	36,6	0,77	0,76

**Примечание:** ТМВ-75 – тонкомолотое вяжущее совместная виброактивация в течение 10 минут (ПЦ 74 % + барханный песок 25 % + С-3 – 1 %)  $S_{уд} = 480 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; ФЗ – фракционированный заполнитель, полученный обогащением отсеков дробления (60 %) барханными песками (40 %); МН – микронаполнитель, виброактивированный в течение 10 минут барханный песок  $S_{уд} = 410 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; АКРЭМОС 101 акриловая дисперсия расход 18 % от массы цемента; ГКЖ-11 метилсиликонат натрия расход 10 % от массы акриловой дисперсии; состав №8 - контрольный образец на кварцевом песке Червленского месторождения

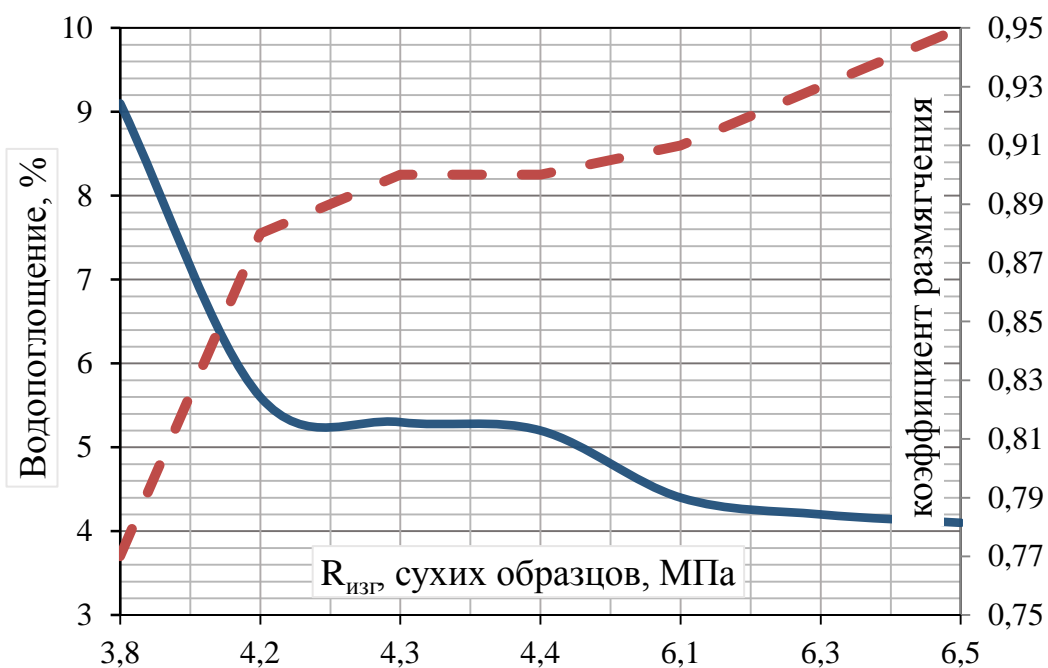


Рисунок 3.18 – График зависимости водопоглощения (синяя кривая) и коэффициента размягчения (красная кривая) от прочности на изгиб

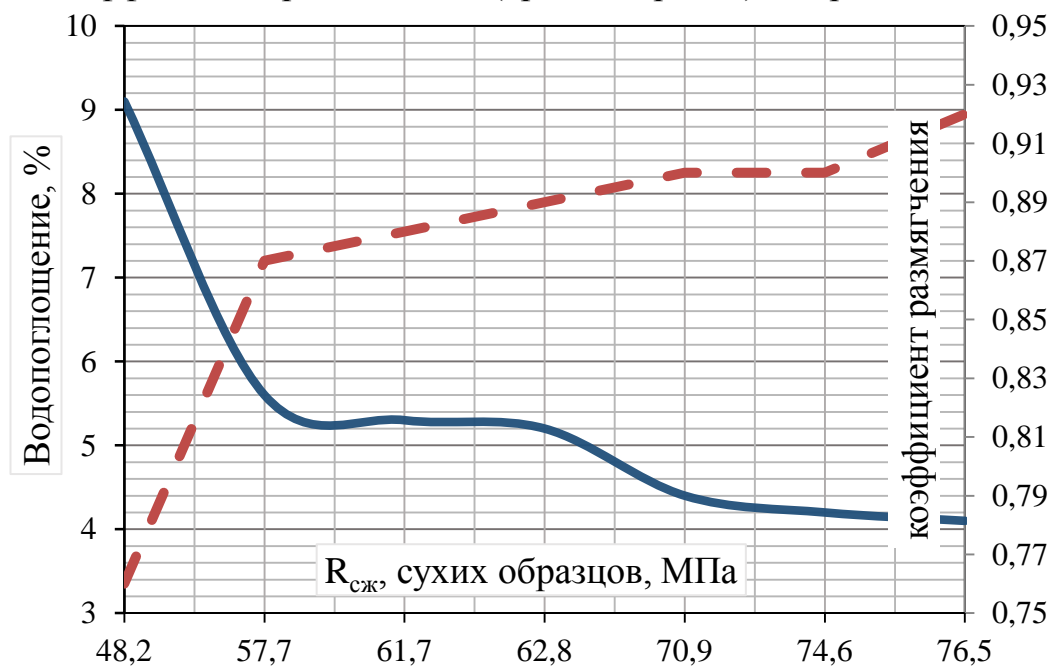


Рисунок 3.19 – График зависимости водопоглощения (синяя кривая) и коэффициента размягчения (красная кривая) от прочности на сжатие

Анализ результатов показал довольно высокую водостойкость исследуемых ремонтных составов из мелкозернистых бетонов, коэффициент размягчения при изгибе  $k_p = 0,88 - 0,96$  имеет показатели выше, чем

коэффициент при сжатии  $k_p = 0,87 - 0,92$ .

Насыщение водой образцов было кратковременным, и воздействие воды носило адсорбционный и капиллярный характер. Именно адсорбционные процессы и влияют на понижение прочности, но бывают случаи, когда прочность бетона в насыщенном водой состоянии бетона иногда больше прочности бетона в сухом состоянии.

Исследуемые ремонтные модифицированные составы из мелкозернистых бетонов характеризуются невысокой величиной водопоглощения по массе от 3,9 до 5,6 %, и при таких значениях отмечается незначительное снижение прочности насыщенных водой образцов. По сравнению с водопоглощением контрольного образца, водопоглощение в составах № 7 и 8 на 55-57 % меньше, коэффициент размягчения самый максимальный 0,92 и 0,96. Объяснение этому использование тонкомолотых вяжущих из барханных песков в комплексе с двуводным гипсом, минеральные добавки кольматируют поровое пространство цементного камня, делая его непроницаемым. То же самое относится и к составам с использованием тонкомолотого вяжущего из барханных песков с акриловой дисперсией АКРЭМОС 101, полимерная фаза равномерно заполняет все неровности и капилляры, создавая эффект водоотталкивания, тем самым повышая водостойкость бетона.

Водопоглощение характеризует поровое пространство композита и именно использование тонкомолотых вяжущих на барханных песках в сочетании с полимерными и минеральными добавками дает получение плотной непроницаемой системы, повышающей водостойкость.

### **3.7.2 Морозостойкость и водонепроницаемость**

Одним из основных требований, предъявляемых к ремонтным составам является морозостойкость. Многочисленные исследования подтверждают [137, 142, 143, 147], что морозостойкость ремонтных составов из мелкозернистого бетона зависит от особенностей и физико-механических

свойств составляющих компонентов. Вид цемента, особенно его минералогический состав, в частности, количество в нем трехкальциевого алюмината, его тонкость помола, присутствие минеральных добавок, качество заполнителя, зерновой и минеральный составы и т.д. все это в комплексе влияет на количество циклов замораживания и оттаивания, выдерживаемых бетоном.

В работе [137] исследователей установлено, что морозостойким должны быть и цементный камень, и заполнитель. Однако в работах [85, 86] доказывается обратное, карбонатный и керамзитовый заполнители создают композиты более морозостойкие, чем мелкозернистые бетоны, хотя применяемые заполнители нельзя считать морозостойкими. Объясняют этот факт, тем, что зоне контакта «вяжущее – заполнитель» происходит поглощение воды пористым заполнителем из цементного камня. Вследствие, заполнитель покрывается как бы оболочкой, и силы адгезии намного выше у заполнителя, чем у цементного камня «в объеме». Это и способствует увеличению морозостойкости бетонов на неморозостойких пористых заполнителях.

По мнению многих авторов [93, 119, 126] структура бетона и характер его пористости так же влияют на количество циклов замораживания и оттаивания, выдерживаемых бетоном, особенно важно присутствие условно-замкнутых пор. Поэтому использование в бетонной смеси ПАВ, способствуют уменьшению начального водосодержания смеси, повышает прочностные показатели цементного камня, снижает открытые поры, сокращает капиллярную пористость, в итоге это все должно увеличить морозостойкость мелкозернистого бетона на основе барханных песков.

Для определения морозостойкости исследуемых ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона были изготовлены образцы - кубы размером 10x10x10 см по 6 штук с каждого состава (таблица 3.14). Морозостойкость определялась согласно ГОСТ 10060.3-95 «Бетоны. Дилатометрический метод ускоренного определения морозостойкости».

Испытания проводили с помощью прибора «БЕТОН-ФРОСТ» и автоматической морозильной камеры, по ускоренной методике исследования морозостойкости дилатометрическим методом.

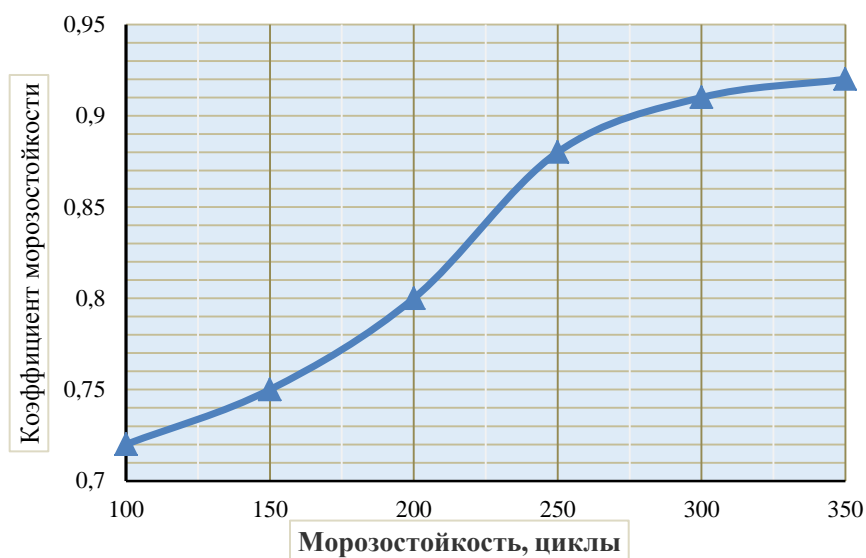
Таблица 3.14 –Определение морозостойкости модифицированных ремонтных составов

№ состава	Расход материалов бетона, кг/м <sup>3</sup>										Прочность в возрасте 28 сут., МПа		Морозостойкость	Коэффициент морозостойкости
	Ц	ТМВ-75	АКРЭМОС 101	ГКЖ-11	ФЗ	МН	Хидетал	Sika Viscocrete	Двухводный гипс	В	контрольные образцы	после испытания на Мрз		
1	430	-	-	-	1510	100	6	-	-	189	57,3	48,1	F200	0,84
2	430	-	-	-	1510	100	-	6	-	180	62,4	54,3	F250	0,87
3	420	-	-	-	1520	90	-	6	15	200	60,1	51,6	F250	0,86
4	420	-	77	7	1520	90	-	-	-	117	63,2	54,9	F250	0,87
5	-	530	-	-	1510	-	5	-	-	175	70,1	63,1	F300	0,90
6	-	530	-	-	1510	-	-	5	-	164	74,2	67,5	F300	0,91
7	-	520	-	-	1520	-	-	5	15	182	76,0	69,9	F350	0,92
8	-	520	94	9	1520	-	-	-	-	130	77,5	71,3	F350	0,92
9	540	-	-	-	1400	-	-	-	-	292	48,5	36,4	F150	0,75

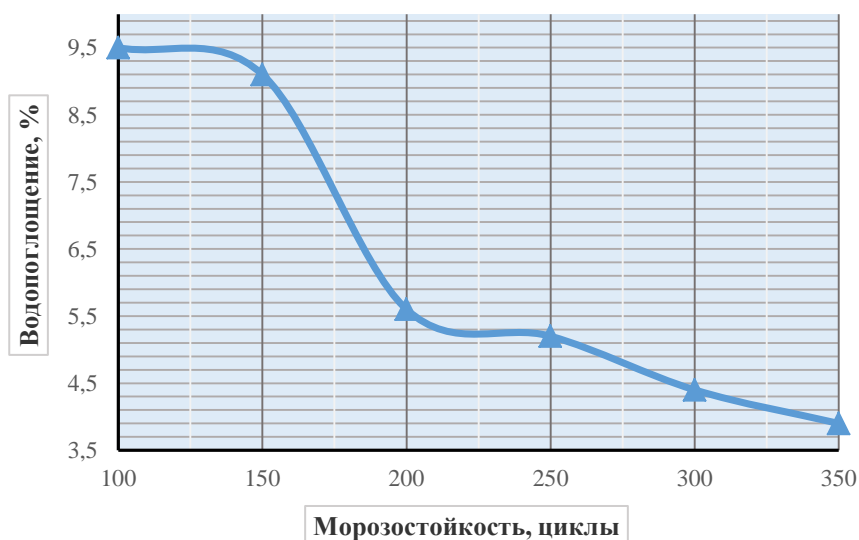
**Примечание:** ТМВ-75 – тонкомолотое вяжущее совместная виброактивация в течение 10 минут (ПЦ 74 % + барханный песок 25 % + С-3 – 1 %)  $S_{уд} = 480 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; ФЗ – фракционированный заполнитель, полученный обогащением отсевов дробления (60 %) барханными песками (40 %); МН – микрозаполнитель, виброактивированный в течение 10 минут барханный песок  $S_{уд} = 410 \text{ м}^2/\text{кг}$ ; АКРЭМОС 101 акриловая дисперсия расход 18 % от массы цемента; ГКЖ-11 метилсиликонат натрия расход 10 % от массы акриловой дисперсии; состав №8 - контрольный образец на кварцевом песке Червленского месторождения

Образцы твердели 28 суток в климатической камере при температуре  $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  и влажности 100%. Часть образцов насыщали в течение 4 суток 5 % водным раствором NaCl, затем помещались в прибор и подвергались замораживанию при температуре  $-50 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ . Другая часть образцов

подвергалась испытанию в момент замораживания образцов-близнецов. Коэффициент морозостойкости, определяли отношением предела прочности при сжатии образцов, выдержавших испытания морозостойкости, и предела прочности при сжатии контрольных образцов. Этот коэффициент должен соответствовать рекомендуемому показателю и быть не менее 0,75. Результаты испытаний приведены в таблице 3.14 и на рисунке 3.20.



а)



б)

Рисунок 3.20 – График зависимости морозостойкости от коэффициента морозостойкости (а) и от водопоглощения (б)

Результаты по определению морозостойкости показали, что ремонтный состав из мелкозернистого бетона модифицированный комплексным



использованием тонкомолотого вяжущего на барханном песке, двухводным гипсом и карбоксилатной добавкой Sika Viscocrete состав № 7 достиг марки по морозостойкости F350 коэффициент морозостойкости 0,92. Комплексное использование тонкомолотого вяжущего на барханном песке и акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 с кремнийорганической жидкостью метилсиликонатом натрия ГКЖ-11 также показало высокий результат морозостойкости F350.

Поровое пространство бетона в условиях попеременного замораживания и оттаивания в насыщенном водным раствором хлорида натрия находится в напряженном состоянии. Общая пористость, слагаемая из капиллярных, открытых некапиллярных и условно-закрытых пор и влияет на прочность ремонтных составов в условиях знакопеременных температур. Самыми опасными порами являются открытые некапиллярные, о состоянии которых можно судить по водопоглощению. А использование предлагаемых составов позволило получить минимальные значения водопоглощения 3,9-4,1 %, тонкодисперсные частички барханного песка заполняют дефекты и поры цементного камня, снижая общий объем пор, полимерная составляющая, увеличивая долю условно-закрытых пор, повышает морозостойкость исследуемых ремонтных составов. Полиакриловая дисперсия, проникая в поры и капилляры, заполняет их, армируя цементный камень изнутри, тем самым оказывает сопротивление нагрузкам и повышает стойкость ремонтного бетона.

Далее была поставлена задача определить водонепроницаемость спроектированных ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона. Для этого изготавливались образцы-цилиндры с диаметром и высотой 15 см по 3 штуки с каждого состава, которые набирали прочность в камере выдерживания с относительной влажностью более 90 % при температуре  $20 \pm 2$  °С и подвергались испытанию на 7 и 28 сутки. Водонепроницаемость бетона определялась ускоренным методом по ГОСТ 12730.5-84 с использованием прибора ВВ-2. Результаты испытаний

подтвердили хороший результат по водонепроницаемости исследуемых ремонтных составов. На рисунке 3.21 показана зависимость водонепроницаемости бетона от водопоглощения.

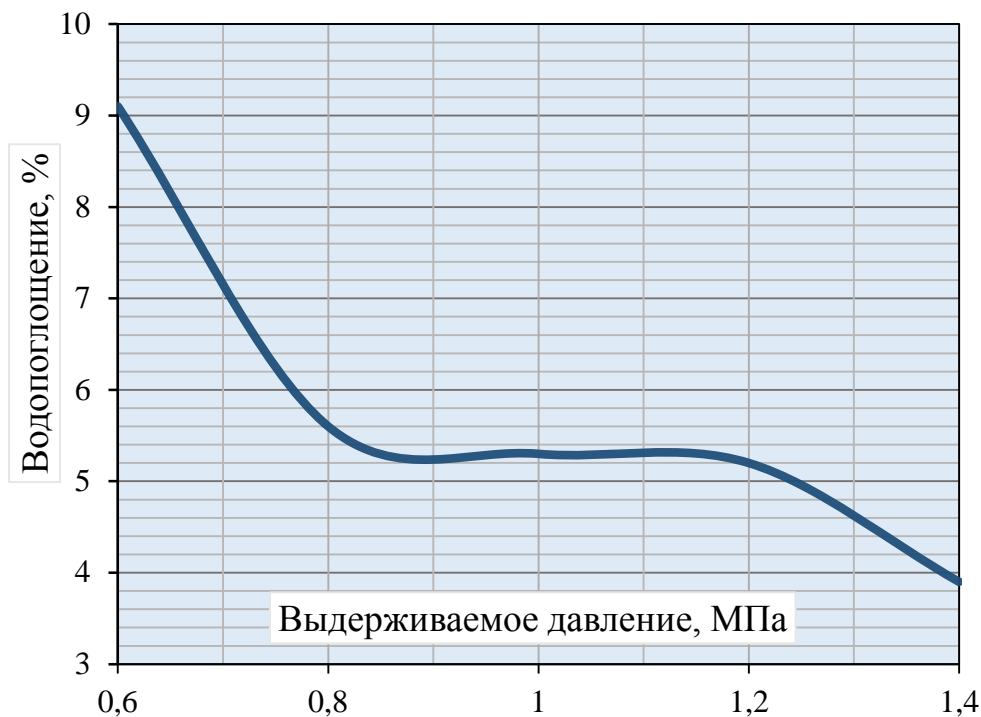


Рисунок 3.21 – График зависимости водонепроницаемости от водопоглощения

Полученная высокая водонепроницаемость бетона W14 конечно обусловлена действием минеральных добавок на основе барханного песка и полимерных компонентов, барханного песка в качестве заполнителя на структуру бетона. Как известно, присутствие огромного количества пор и капилляров способствует водонепроницаемости, поры образуются из-за избытка воды затворения. Особенно поры формируются в зонах под нижней частью зерен-заполнителей, в результате того, что свободная вода, поднимаясь на поверхность бетона, задерживается и скапливается там. Все эти открытые поры в сумме и способствуют фильтрации воды в бетоне. А использование полимерной фазы и тонкодисперсного микрозаполнителя из барханного песка дает эффект закупоривания, кальмотации и

самоуплотнения цементного камня, что способствует повышению непроницаемости бетона.

Таким образом, получены ремонтные составы №7 и № 8 с использованием тонкомолотого вяжущего, минерального и полимерного составляющих с маркой по водонепроницаемости W14. Опытным путем установлено минимальное водопоглощение, высокая стойкость к влаге такого бетона, на основании которых можно утверждать об эффективности использования предлагаемых ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на барханных песках в ремонтных целях.

### **ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ**

1. Изучены типы структур модифицированных ремонтных составов из мелкозернистого бетона с использованием минеральных и полимерных компонентов в комплексе и возможные схемы их взаимодействия.

2. Установлено влияние вида и гранулометрического состава фракционированного мелкого заполнителя, полученного смешиванием в нужном соотношении отсевов дробления Аргунского месторождения и барханных песков Шелковского месторождения, на свойства ремонтных составов из мелкозернистого бетона. Оптимальной рецептурой обогащенного песка можно считать состав с удалением 60 % фракции 2,5 – 1,25 мм от отсева дробления и добавление 40 % фракции 0,315 – 0,14 мм барханного песка, что существенно снижает пустотность заполнителя до 38,8 % и водопотребность заполнителя до 6,5 %, значительно улучшая свойства полученных с их использованием ремонтных составов.

3. Установлена высокая водоудерживающая способность тонкомолотого вяжущего в комплексе с двуводным гипсом и полимерной фазой карбоксилатов или акрилатов. Предлагаемые ремонтные составы показали значение водоотделения, меньше допустимого для конкретной марки по удобоукладываемости.

4. Доказана высокопластифицирующая и водоредуцирующая способность поликарбоксилатной добавки Sika Viscocrete 5 New, которая в комплексе с тонкомолотым вяжущим ТМВ-75, в составе которой содержится С-3 дает возможность получать связанную и не расслаивающуюся ремонтную смесь. Оптимальная дозировка Sika Viscocrete от 1 – 1,4 % от массы цемента, при которой можно получить ремонтную смесь с маркой по подвижности П4 – П5. Ремонтные составы с использованием акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 в комплексе с метилсиликонатом натрия показали пластифицирующий эффект незначительно меньший в сравнении с карбоксилатами.

5. Установлено, что модификация ремонтных составов акриловой дисперсией АКРЭМОС 101 значительно повышает адгезионную прочность предлагаемых составов – разрыв адгезионного основания произошел по старому основанию, что означает, что прочность ремонтных составов выше прочности "старого" бетона. Реологические показатели бетонной смеси изменяются с изменением содержания вяжущего и заполнителя, предельное напряжение сдвигу и структурная вязкость уменьшаются с увеличением расходов ТМВ-75 и водоцементного отношения.

6. Установлено, что комплексное использование ТМВ-75 и суперпластификатора Sika Viscocrete 5 New сохраняет жизнеспособность формовочной смеси до 5 часов и заданная марка по удобоукладываемости П5 сохраняется в течение 3 часов. Совместное использование акриловой дисперсии АКРЭМОС 101 и метилсиликоната натрия совместно с ТМВ-75 показало, что через 2 часа ремонтная смесь, модифицированная полимером, превращается из смеси марки П5 в смесь марки П1

7. Доказано, что использование добавки двуводного гипса в ремонтных составах в комплексе с тонкомолотым вяжущим и карбоксилатами проявляет расширяющий эффект, что является важным показателем при производстве ремонтных работ.

8. Установлены высокие физико-механические и деформативные

свойства ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов, получена прочность бетона при сжатии 69 – 77 МПа, отношение призмной прочности к кубиковой на образцах с использованием тонкомолотых вяжущих, гипса, карбоксилатов и акрилатов составляет 0,81 – 0,83, что соответствуют значениям тяжелых качественных бетонов, продольные и поперечные деформации значительно уменьшились по сравнению с контрольными образцами, конечно же, это связано с использованием в ремонтных составах полимерной фазы и двуводного гипса, которые и повышают деформативные свойства исследуемых ремонтных бетонов.

9. Установлено, что получены водостойкие ремонтные составы (коэффициент размягчения при изгибе  $k_p = 0,88 - 0,95$ , коэффициент при сжатии  $k_p = 0,87 - 0,93$ , водопоглощение по массе от 3,9 до 5,6 %).

10. Исследована морозостойкость и водонепроницаемость предлагаемых ремонтных составов, установлено, что комплексное влияние минеральных и полимерных компонентов способствует получению долговечных ремонтных составов из мелкозернистых бетонов, с маркой по морозостойкости F 250-350 и по водонепроницаемости W 10 – W 14.

## **ГЛАВА 4. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРОАКТИВИРОВАННОГО ВЯЖУЩЕГО С КОМПЛЕКСНЫМ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ И ХИМИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ В ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТНЫХ СОСТАВОВ**

### **4.1 Рекомендации по ремонту бетонных и железобетонных конструкций модифицированными составами на барханном песке**

Ремонт бетонных и железобетонных конструкций для восстановления поврежденного защитного слоя, подвергнутых разрушению поверхностных участков бетона, заделки появившихся трещин, дефектов, пустот и каверн в объеме конструкций можно осуществлять предлагаемыми в работе ремонтными модифицированными составами из мелкозернистого бетона.

Последовательность технологических переделов ремонта аналогична независимо от конструкции, различие будет только в способе нанесения бетонной смеси на поверхность, требующую ремонта.

В процессе ремонта конструкций можно выделить этапы:

- приготовление поврежденных поверхностей конструкций, требующих ремонта;
- подготовка грунтовочного состава и нанесения его на подготовленные участки;
- приготовление ремонтного модифицированного состава, строго по рецептуре;
- уход за восстановленной поверхностью конструкции.

Предлагаемая технология ремонта железобетонных конструкций с использованием ремонтного модифицированного состава из мелкозернистого бетона включает следующие этапы.

1. Приготовление поврежденных участков бетона и арматуры к ремонту

На этом технологическом переделе поверхность, требующая ремонта осматривается, корродированные и рыхлые слои бетона должны быть полностью уничтожены до плотного бетона. Зоны всех участков вырубки вычисляются на основании предварительного обследования повреждённых конструкций. Необходимо подвергать вырубке следующие участки:

- поверхностей бетона ширина, которых составляет 10-15 см вдоль коррозионной арматуры с рыхлым и пористым защитным слоем;
- поверхностей ширина, которых составляет 10-15 см вдоль корродирующих трещин;
- поверхностей со структурным повреждением бетона на границе с довольно плотным и сохранившим прочность бетоном;
- поверхностей с повышенной коррозионной активностью арматуры.
- поверхностей бетона, находящихся на уровне с арматурой, поражённой хлоридами, если концентрация хлоридов в данной зоне превышает 0,5 % массы цемента.

Зона вырубки фиксируется мелом на бетонной конструкции и уточняется в ходе выполнения работ. Участки для вырубки необходимо опиливать прямыми линиями по отмеченной границе с помощью специальной для этих целей углошлифовальной машины или алмазной пилы. Непрочные и отслоившиеся промежутки бетона вырубается с помощью отбойного молотка и перфоратора. Качество вырубки обязательно надо контролировать, простукивая молотком.

Месторасположение арматуры в теле бетона определяют при помощи магнитного прибора, а также визуальным осмотром по выходам арматурных стержней на границе поверхности и в некоторых случаях по траектории корродирующих трещин.

Поврежденный коррозией бетон вырубается глубже арматуры приблизительно на один диаметр стержня, но не меньше 2 см. Если повреждена поверхность с двумя и более рядом прилегающими арматурными стержнями необходимо вырубать бетон до низа стержней. В случае

повреждения арматуры более 30 % коррозией или в результате вырубки бетона стержни надо заменить.

В случае если на поверхности бетона присутствует оголённая арматура, то эти участки подвергают пескоструйной зачистке, чтобы тщательно отделить ржавчину и остатки корродированного бетона, к тому же желательно создать шероховатую и неровную текстуру. Ржавчину так же можно уничтожить с помощью щёток-насадок металлических на электродрель, а если неглубокая коррозия арматуры толщиной менее 60 мкм эффективно применять модификаторы ржавчины, но поверхность с загрязнениями после этой процедуры необходимо промыть струёй воды под давлением.

При восстановлении защитного слоя конструкции модифицированным бетоном, то старое основание нужно зачистить пескоструйной обработкой и смыть водой цементную пыль и другие включения.

Есть моменты, когда необходимо восстановить защитный слой большой толщины, тогда рекомендуется на старое основание специальными дюбелями из нержавеющей стали пристрелить стальную сетку. Обязательно нужно учитывать и влажность поверхности, подвергаемой ремонту, увлажнять или подсушивать ее.

## 2. Подготовка грунтосостава

Перед бетонированием обязательно покрыть грунтовкой ремонтируемую поверхность, для того чтобы обеспечить максимальную адгезию старого основания и нового бетона. Предпочтение можно отдать грунтовочному составу на основе полимерных связующих от передовых производителей как российских, так и зарубежных. Эти составы уже готовы к применению и обладают высокими адгезионными свойствами.

## 3. Нанесение грунтовочного состава

Грунтовочный состав наносят равномерно и без излишеств на основание с помощью компрессора и краскораспылителя. Небольшие зоны ремонта можно наносить грунтовкой с помощью кисти или валика.



#### 4. Приготовление ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона

Приготовление ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона осуществляют в растворо– или бетоносмесителях принудительного действия с объёмом по загрузке 100 – 500 л. При меньших объёмах работ бетонную смесь можно готовить при тщательном вымешивании и вручную в различного рода ёмкостях, при больших объёмах бетонную смесь готовят на бетоносмесительных узлах по выпуску товарного бетона.

В зависимости объёма и способа приготовления бетонной смеси дозирование осуществляют или мерными сосудами, или заводскими дозаторами различного типа.

Процесс перемешивания компонентов смеси довольно ответственный и перемешивание происходит в следующем порядке: сначала загружают обогащенный фракционированный заполнитель, полученный смешиванием в заданных пропорциях (60:40 %) отсева дробления и барханного песка, следом загружают виброактивированное тонкомолотое вяжущее и двухводный гипс, или полиакрилатную дисперсию АКРЭМОС 101, эта смесь перемешивается 1 минуту без воды. Затем подается отдозированная строго по расчету вода с растворенным в ней суперпластификатором Sika Viskocreate 5 New, Хидетал ГП-9 или ГКЖ-11. Процесс перемешивания бетонной смеси займет 4 –6 минут, пока смесь не станет однородной и связной.

#### 5. Способ нанесения предлагаемого ремонтного состава на ремонтируемый участок

Способ нанесения бетонной смеси выбирают в зависимости от характера повреждения конструкции.

5.1 Укладка ремонтного состава из мелкозернистой бетонной смеси, этот способ применяют если повреждены горизонтальные участки конструкции с небольшим углом наклона. Если площадь повреждения

высокая по смеси укладывают, уплотняют и производят отделку поверхности с помощью бетоноукладчика на гусеничном или рельсовом ходу, если площадь повреждения небольшая бетонная смесь укладывается вручную, а уплотняют ее с помощью виброреек или различных конструкций вибраторов. Отделку поверхности осуществляют с помощью затирочных машин.

5.2 Оштукатуривание поврежденной поверхности ремонтным составом применяют если необходим ремонт незначительных вертикальных зон и нижних горизонтальных зон конструкций при глубине наносимой смеси не более 5 см. Оштукатуривание на таких небольших участках осуществляют вручную с помощью мастерка и полутёрка. Отделку поверхности производят затирочной машиной. В случае, когда участки повреждены более глубоко и толщина зоны более 10 см, то мелкозернистую смесь наносим в несколько подходов, при этом нужно делать интервалы для схватывания каждого предыдущего слоя смеси.

5.3 Заливка бетонной смеси в опалубку, осуществляется в тех случаях, когда повреждены более 5 см глубокие вертикальные и нижние горизонтальные зоны конструкций. Необходимо установить опалубку, с таким расчетом, чтобы расстояние между поврежденным основанием и опалубкой соответствовало заданной толщине слоя новой бетонной смеси. Ремонтный состав из мелкозернистой смеси в опалубку подают если большие объемы повреждены с помощью бетононасоса, но если объем невелик, то можно вручную ведрами. Уплотняют смесь с помощью глубинного вибратора, опускаемого в уложенную смесь сверху, или с помощью закрепленных к опалубке снаружи навесных вибраторов. Отделка поверхности определяется качеством опалубки.

5.4. Торкретирование ремонтного состава из мелкозернистой бетонной смеси рекомендуется если повреждены значительные участки вертикальных и нижних горизонтальных поверхностей конструкций при глубине наносимого слоя меньше 5 см. В данном случае смесь наносим под

давлением с помощью штукатурной машины, уплотнения нанесенной смеси не нужно. Отделка поверхности производится затирочными машинами.

#### б. Уход за свежееуложенной ремонтной мелкозернистой смесью

Поверхность бетона только что уложенного необходимо защищать от воздействия различных факторов: атмосферных осадков, продувания ветром и прямого попадания солнечных лучей. Поэтому свежую поверхность бетона желательно накрыть полиэтиленовой плёнкой. При гарантированной хорошей погоде свежееуложенный бетон можно обработать из краскораспылителя и закрепляющей полимерной эмульсией. Ухаживать необходимо до набора бетоном не меньше 50% прочности по заданной марке. При температуре ниже  $5^{\circ}\text{C}$  вокруг ремонтируемой поверхности необходимо устроить тепловое укрытие с помощью теплопушек, чтобы температура воздуха была в этой зоне не меньше  $5^{\circ}\text{C}$  до набора бетоном 70 % прочности заданной по проекту.

### **4.2 Расчёт себестоимости ремонта железобетонных конструкций разработанным модифицированным составом из мелкозернистого бетона на основе барханных песков**

Согласно технологических и проектных данных по ценам 2018 года на сырьевые материалы для условий Чеченской Республики была определена себестоимость ремонта железобетонных конструкций. Расходы на материалы определены на основе контрольного мелкозернистого бетона и предлагаемого ремонтного состава и приведены в таблице 4.1.

Полученный расчет себестоимости ремонтных составов из мелкозернистых бетонов, как контрольного, так и модифицированного доказал экономический эффект от применения виброактивированных тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков и ПАВ, использование обогащенного заполнителя так же дает нам экономию, экономический эффект составил 398 рубля с  $1\text{ м}^3$  мелкозернистого бетона, а если учитывать, то что полученный ремонтный модифицированный состав существенно

преобладает по своим качественным показателям по сравнению с контрольным бетоном, то эффективность предлагаемых бетонов будет значительно выше. Предлагаемый состав с использованием полимерных составляющих АКРЭМОС 101 и ГКЖ-11 показали себестоимость ремонтного состава 4486, 7 руб с 1 м<sup>3</sup> бетона, данный ремонтный состав рекомендуется применять для проведения срочных ремонтных работ, чтобы оправдать высокую стоимость данного состава.

Талица 4.1 – Себестоимость ремонта железобетонных конструкций

Наименование материалов	Ед. изм.	Цена, руб.	Ремонт с контрольным мелкозернистым бетоном		Ремонт с предлагаемым модифицированным составом		
			норма расхода на 1 м <sup>3</sup>	стоимость, руб	норма расхода на 1 м <sup>3</sup>	стоимость, руб	стоимость, руб
Портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н	т	3500	540	1890	-	-	-
ТМВ-75: портландцемент	т	2620	-	-	384	1006	1006
барханный песок	м <sup>3</sup>	150	-	-	130	19,5	19,5
С-3	кг	60	-	-	3,8	228	228
Гипс	т	1800	-	-	0,01	19	-
Акриловая дисперсия АКРЭМОС 101	л	26	-	-	94	-	2444
ГКЖ-11	л	42,6	-	-	9	-	383
Кварцевый песок Червленского месторождения	т	550	1400	770	-	-	-
Отсев дробления Аргунского месторождения	т	350	-	-	912	300	300
Песок барханный Шелковского месторождения	т	150	-	-	608	91,2	91,2
Вода	л	0,01	250	25	180	18	13
Sika Viscocrete 5 New	л	90	-	-	5,6	504	-
Расход на электроэнергию на виброактивацию 10 минут ТМВ	кВт	1,71	-	-	17,1	102	102
Итого:			2685		2287,7		4486,7

Экономический эффект предлагаемой разработки можно объяснить созданием нового ремонтного состава из мелкозернистого бетона для ремонта железобетонных конструкций, который позволит увеличить эксплуатационную надежность и долговечность зданий и сооружений. Экономическую эффективность можно рассчитать по формуле:

$$\mathcal{E} = O_{\text{год}} (C_c / T_c - C_B / T_H) \quad (4.1)$$

где,  $\mathcal{E}$  – экономическая эффективность, тыс. руб;

$O_{\text{год}}$  - годовой объём ремонтных работ бетонных и ЖБК, м<sup>2</sup>;

$C_c$  - стоимость ремонтных работ 1 м<sup>2</sup> поверхности бетонных и ЖБК мелкозернистым бетоном, взятым в качестве эталона, руб;

$C_H$  - стоимость ремонтных работ 1 м<sup>2</sup> поверхности бетонных и ЖБК предлагаемым ремонтным составом, руб;

$T_c$  - срок межремонтного периода при ремонте бетонных и ЖБК мелкозернистым бетоном, взятым в качестве эталона, год;

$T_H$  - срок межремонтного периода при ремонте бетонных и ЖБК предлагаемым ремонтным составом, год.

Сложность расчета экономической эффективности состоит в неточности прогнозирования интервала межремонтных сроков. До сих пор нет реальной методики, которая определила точный срок службы отремонтированных поверхностей бетона и ЖБК, так как в период эксплуатации на них влияют многие факторы, и необходимость проведения ремонтных работ конструкции выясняется по факту состоянию. Поэтому для расчета экономического эффекта продолжительность службы конструкций после ремонта принят приблизительно по их морозостойкости. Заметим, что ремонт бетонных и ЖБК, назначается после полного разрушения защитного слоя бетона [159, 163, 166]. Исследования, проведенные по испытаниям на морозостойкость, показали, что контрольный мелкозернистый бетон теряет прочность после 150 – 200 циклов замораживания и оттаивания, а

предлагаемый в работе через 350 – 400 циклов. В работах [67, 70, 79, 88, 92] установлено, что срок службы ЖБК из модифицированного добавками бетона составляет 20 лет, тогда за 1 год эксплуатации бетон подвергается приблизительно 10 циклам замораживания и оттаивания в насыщенном растворе NaCl. Делением количества циклов по марке на морозостойкость, на годовое количество циклов замораживания и оттаивания в растворе NaCl, получим приблизительную продолжительность службы ремонтного бетона: контрольный мелкозернистый бетон 15 лет, предлагаемый ремонтный состав 35 лет.

Тогда расчет экономического эффекта с использованием предлагаемого ремонтного состава из мелкозернистого бетона составит 5,8 тыс. рублей с 1 м<sup>2</sup> поверхности конструкции в год.

#### **4.3 Технология производства тонкомолотых вяжущих на основе барханного песка**

Для получения активированных тонкомолотых вяжущих необходимо использовать следующие материалы: портландцемент марки ЦЕМ I 42,5 Н, барханный песок модуль крупности 0,6 и суперпластификатор С-3. Рецепт тонкомолотого вяжущего приведена в таблице 4.2. Перечисленные компоненты вяжущего подвергались тонкому измельчению в течение 10 минут в вибрационной мельнице. В результате были получены тонкомолотые вяжущие различной дисперсности (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Составы тонкомолотых вяжущих

№ состава	Способ активации	Условное обозначение	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Содержание компонентов тонкомолотого вяжущего, %		
				ПЦ	Барханный песок	С-3
1	Совместная виброактивация ВМ-20	ПЦ	420	100	-	-
2		ТМВ-85	454	84	15	1,0
3		ТМВ-75	482	74	25	1,0

4		ТМВ-65	476	64	35	1,0
---	--	--------	-----	----	----	-----

Последовательность технологического процесса приготовления тонкомолотого вяжущего приведена на рисунке 4.1.

Доставка, прием и хранение барханных песков проходит в следующей очередности: барханный песок из Шелковского месторождения доставляется на завод автомобильным транспортом, здесь он хранится на складе закрытого типа, чтобы влажность песка оставалась постоянной до того, как его активируют. В комплект оборудования склада входит: наклонный поворотный ленточный конвейер, мостовой кран с грейферным захватом, а также пневморазгрузчик всасывающе-нагнетательного действия, так как даже в исходном состоянии барханный песок является довольно дисперсным материалом, удельная поверхность его  $31 \text{ м}^2/\text{кг}$ . Обязательно над каждым источником пылеобразования необходимо размещать пылеочистные системы для очистки запыленного воздуха, чаще всего это циклоны и батарейные циклоны (Ц-15, ПБЦ-15) и фильтры (УГ-1-3-10, СМЦ-166).



Рисунок 4.1 – Схема приготовления тонкомолотого вяжущего

Из приёмных бункеров-силосов портландцемент и суперпластификатор и барханный песок из закрытого склада в определенном количестве по массе,



направляются на дозирование в весовые дозаторы, после чего транспортируются в шаровую вибрационную мельницу, где в течение 10 минут происходит совместный помол портландцемента, минерального компонента и сухого пластификатора. Готовая композитная смесь вяжущего помощью пневмонасоса перемещается в бункера силосного типа на склад тонкомолотых вяжущих. Бункера-силосы для хранения тонкомолотых вяжущих снабжены вентилятором и пыле-газоочистными сооружениями, циклонами и фильтрами. Рекомендуемый срок хранения полученного цемента в течение 2-4 недель. При помощи пневмонасоса тонкомолотое вяжущее поступает в бункер-накопитель где может отгружаться либо в бетоносмесительный узел для производства товарного бетона, либо для упаковки в тару.

Рецептура тонкомолотого вяжущего подбирается в зависимости от заданных по проекту физико-механических и эксплуатационных показателей бетона для проведения ремонтных работ для конкретной конструкции и уточняется уже на применяемых сырьевых материалах испытательной лабораторией по согласованию с разработчиком. Предлагаемая технологическая линия имеет производительность 20 000 т/год тонкомолотого вяжущего.

#### **4.4 Внедрение результатов работы**

Согласно проведенным лабораторным исследованиям предлагается модифицированный ремонтный состав с комплексным использованием минеральных и полимерных компонентов для ремонта железобетонных конструкций.

Ремонтные модифицированные составы из мелкозернистого бетона оптимизированы и зависят от расходов тонкомолотого виброактивированного вяжущего, двуводного гипса, воды и карбоксилатных или акрилатных добавок (подробно рецептура вяжущего в главе 2).

Предлагаемый состав внедрялся на практике для ремонта железобетонных конструкций при строительстве жилого комплекса

«Солнечный» в рамках программы «Жилье для российской семьи» по адресу г. Грозный, ул. Старопромысловское шоссе, 24. В таблице 4.3 приводятся составы и свойства модифицированных ремонтных составов.

Производственное внедрение происходило в соответствии с предлагаемой технологией в п.5.1 с применением разработанного модифицированного ремонтного состава. Твердение ремонтного состава из мелкозернистого бетона осуществлялось при температуре воздуха +15 – 20°C и относительной влажности 60 – 70 %.

Стандартные испытания образцов, проведенные на объектах, показали, что ремонтный состав их мелкозернистого бетона имеет следующие свойства: прочность на сжатие 76,2 МПа; прочность на растяжение при изгибе 6,5 МПа; водопоглощение 4,2 % по массе, морозостойкость F350, водонепроницаемость W14.

Таблица 4.3– Физико-механические свойства ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона

№ п/п	Показатели	Ед. измерения	Состав на ПЦ	Состав на ТМБ-75
1.	Состав бетона:	кг/м <sup>3</sup>		
	Вяжущее	кг	540	520
	Двуводный гипс	кг	-	15
	Песок:			
	кварцевый Червленский		1400	-
	отсев дробления+барханный песок		-	1520
	Вода		240	156
	Sika Viscocrete 5 New		7,2	5,5
2.	Подвижность бетонной смеси	см	10	18
3.	Средняя плотность бетонной смеси	кг/м <sup>3</sup>	2200	2216
4.	Прочность бетона при сжатии через 28 суток	МПа	50,7	76,2

Промышленное внедрение проводилось в период с апрель 2018 г. по май 2018 г., на рисунке 4.2 приводятся нарушения технологии бетона и железобетона, требующие срочного ремонта. После проведения ремонтных работ (рисунок 4.3) с использованием разработанного ремонтного состава отремонтированные участки железобетонных конструкций на объектах апробирования, показали качественную поверхность без каких-либо видимых дефектов в виде трещин, раковин, отслоений и т.п.

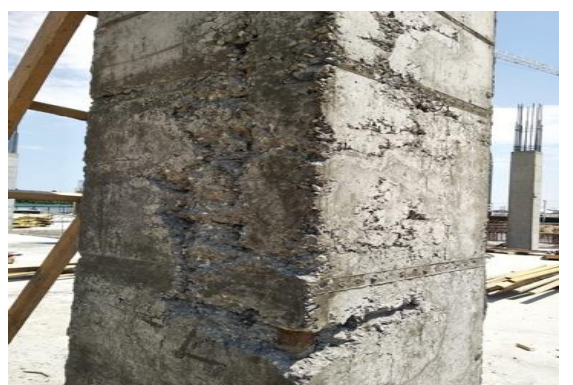




Рисунок 4.2 – Характерные виды дефектов, при проведении ремонтных работ на объектах внедрения

Таким образом, полученные результаты испытаний предлагаемого ремонтного модифицированного состава из мелкозернистого бетона подтверждаются в промышленных условиях и доказывают эффективность данной разработки.



Рисунок 4.3 – Результаты промышленного внедрения предлагаемых разработок

## ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ

1. Разработанные рекомендации по ремонту бетонных и железобетонных конструкций модифицированным ремонтным составом на барханном песке позволят быстро и качественно провести ремонтные работы, что повысит долговечность и эксплуатационную надежность конструктивных элементов;

2. Расчёт себестоимости ремонта железобетонных конструкций разработанным модифицированным ремонтным составом на основе барханных песков показал экономический эффект от внедрения предлагаемых разработок 5,8 тыс. рублей с 1 м<sup>2</sup> поверхности конструкции.

3. Предлагаемая технология производства тонкомолотых вяжущих на основе барханных песков позволит производить предлагаемые рецептуры тонкомолотых вяжущих в соответствии с заданными по проекту физико-механическими и эксплуатационными показателями бетона для проведения ремонтных работ для конкретной конструкции. Предлагаемая технологическая линия имеет производительность 20 000 т/год тонкомолотого вяжущего.

4. Ремонтный состав прошел промышленное внедрение при ремонте железобетонных конструкций при строительстве жилого комплекса «Солнечный» в г. Грозный по улице Старопромысловское шоссе, 24.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработаны рецептуры комплексных модифицированных ремонтных составов на основе барханных песков для ремонта и восстановления несущей способности конструктивных элементов зданий и сооружений.

2. Исследована степень дисперсности измельченных барханных песков, подтверждающая эффективность 10 минутного вибромеханоактивированного ТМВ-75; распределения частиц ТМВ-75 при 10 и 20 минутном помоле отличаются незначительно, средний размер частиц ТМВ – 75 в первом случае составил 2,35 мкм, а во втором – 2,26 мкм.

3. Предложены составы активированных тонкомолотых вяжущих и выявлено, что вибромеханоактивация барханных песков совместно с портландцементом и ПАВ способствует превращению барханных песков в высокоактивные тонкодисперсные минеральные компоненты, которые оказывают влияние на физико-химические процессы структурообразования пластифицированных цементных систем с пониженной водопотребностью; при этом наиболее эффективным является состав ТМВ-75, который в 28 суточном возрасте достигает прочность 67,2 МПа.

4. Установлено влияние тонкодисперсного барханного песка, как компонента вибромеханохимически активированного тонкомолотого вяжущего, на свойства цементного теста и процессы формирования структуры в целом; водопотребность цементной системы снижается до 19,1%, период начала формирования структуры замедляется на несколько часов.

5. Рассмотрена возможность применения барханных песков алюмосиликатной природы в качестве компонента бесклинкерных вяжущих связок «барханный песок – щелочной активатор», результаты электронно-зондовых и рентгенофазовых исследований подтвердили образования гидратных соединений типа натриевых алюмосиликатов кальция - цеолитов, кварца, плагиоклаза, слюды, кальцита, позволяющие получать эффективные

ремонтные составы.

6. Установлено влияние вида и гранулометрического состава фракционированного мелкого заполнителя, полученного смешиванием в заданном соотношении отсевов дробления горных пород Аргунского месторождения и барханных песков Шелковского месторождения на свойства ремонтных составов из мелкозернистого бетона. Оптимальной рецептурой обогащенного песка можно считать состав 60 % фракции 2,5 – 1,25 мм отсева дробления горных пород и 40 % фракции 0,315 – 0,14 мм барханного песка, что существенно снижает пустотность заполнителя (до 38,8 %) и водопотребность заполнителя (до 6,5 %), значительно улучшая свойства полученных с их использованием ремонтных составов.

7. Установлено, что модификация ремонтных составов акриловой дисперсией АКРЭМОС 101 значительно повышает значение адгезионной прочности предлагаемых составов. Отрыв предлагаемого состава от бетонной плиты произошел по исходному основанию, указывая на то, что прочность ремонтных составов выше прочности "старого" бетона. Адгезионная прочность отрыва ремонтных составов на ТМВ-75 от основания достигает 0,96 – 1,1 МПа. Методом математического планирования эксперимента проведено прогнозирование реологических свойств ремонтных составов, установлена зависимость предельного напряжения сдвигу и структурной вязкости от расхода ТМВ-75 и водоцементного отношения.

8. Доказано, что использование добавки двуводного гипса в ремонтных составах в комплексе с тонкомолотым вяжущим и карбоксилатами проявляет расширяющий эффект, деформации на 10 сутки составили 0,012 мм/м, что является важным показателем при производстве ремонтных работ.

9. Получены высокие физико-механические и деформативные свойства ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов, прочность при сжатии составляет 69 – 77 МПа, отношение призмочной прочности к кубиковой - 0,81 – 0,83, что соответствуют значениям тяжелых качественных бетонов, продольные и поперечные деформации значительно

уменьшились по сравнению с контрольными образцами.

10. Получены водостойкие, морозостойкие и водонепроницаемые ремонтные модифицированные составы (коэффициент размягчения при изгибе  $k_p = 0,88 - 0,95$ , коэффициент при сжатии  $k_p = 0,87 - 0,93$ , водопоглощение по массе от 3,9 до 5,6 %, марки по морозостойкости F 250-350 и по водонепроницаемости W 10 – W 14).

11. Ремонтные составы прошли промышленное внедрение при ремонте железобетонных конструкций при строительстве жилого комплекса «Солнечный» в г. Грозный по улице Старопромысловское шоссе, 24. Экономический эффект от внедрения разработанных модифицированных ремонтных составов составил 5,8 тыс. рублей с 1 м<sup>2</sup> поверхности конструкции.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баженов, Ю.М. Материалы и технологии для ремонтно-восстановительных работ в строительстве [Текст]: научное издание / Ю.М. Баженов, Д.К-С. Батаев. – М.: Комтех, 2000. – 233 с .
2. Баженов, Ю.М. Мелкозернистые бетоны из вторичного сырья для ремонта и восстановления поврежденных зданий и сооружений [Текст]: научное издание / Ю.М. Баженов, Д.К-С. Батаев, С-А.Ю. Муртазаев [и др.]. – Грозный: ИП «Султанбегова Х.С.», 2011. -342 с.
3. Чистов, Ю.Д. Неавтоклавные бетоны плотной и ячеистой структуры на основе мелких песков. [Текст] – Автореферат дисс.... д.т.н., – М.:, 1994. – 36с.
4. Гапиев, А.А. Искусственный конгломерат на основе барханных песков Узбекистана. [Текст]: научное издание /А.А. Гапиев, А.У. Урупов, Х.Д. Аджибаев и др. //Всесоюзная научно-техн.конф. "Теория, производство и применение искусственных строительных конгломератов в водохозяйственном строительстве Тез.докл. – Ташкент: 1985. - С. 13-14.
5. Гасанов, Я.А. Технология и свойства ячеистого бетона на грубодисперсных композициях из барханного песка [Текст] - Дисс.... к.т.н. – Ашхабад: 1980. – 183 с.
6. Чистов, Ю.Д. Физико-химические предпосылки к использованию пылевидных полиминеральных песков в технологии неавтоклавного бетона. [Текст]: научное издание //Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении: Тез. докл. конф. Белгород. – 1969. – Ч. 4. - С. 75 - 76.
7. Фадеев, П.И. Пески СССР [Текст]: научное издание. – М.: Из-во МГУ, 1951. - 290 с.
8. Абелев, Ю.М. Строительство на засоленных грунтах [Текст]: научное издание/ Ю.М. Абелев, У.Р. Джумашев – М.: МИСИ, 1978. -56 с.
9. Арипов, Э.А., Нуриев Б.Н., Арзамурадов М.И. Химическая мелиорация подвижных песков [Текст]: научное издание/ Э.А. Арипов, Б.Н. Нуриев, М.И. Арзамурадов – Ашхабад: "Ылым". – 1983. – 212 с.
10. Минерально-сырьевая база местных строительных материалов Туркменской ССР. Характеристика и перспективы. [Текст]: научное издание – Ашхабад: Изд-во АН ТССР, 1961. - т.1. –343 с.

11. Чарыев, А.Ч. Неавтоклавный газобетон в сельском строительстве [Текст]: научное издание / А.Ч. Чарыев, А.В. Волженский, Ю.Д. Чистов, Г.М. Ляшенко. // Бетон и железобетон. –1984. – № 4. – С.29-30.
12. Сергеев, Е.М. Кольматация каракумских песков [Текст]: научное издание: Материалы исследований в помощь проектированию и строительству Каракумского канала. – Ашхабад: Из-во АН ТССР, 1958. – С.96-124.
13. Нисневич, М.Л. Области применения разлива групп природных и обогащенных песков в качестве заполнителей для бетонов [Текст]: научное издание / М.Л. Нисневич, Е.И. Анисимова / Сб. ин-та ВНИИПИстройсырье "Комплексное исследование сырья месторождений нерудных строительных и облицовочных материалов", – М.:, 1981. - С.87–92.
14. Куприна, Г.А. Пески Западных Кара-Кумов [Текст]: научное издание - в кн.: Материалы исследований в помощь проектированию и строительству Каракумского канала. Вып.1. Изд. АН Туркм.ССР, 1958. - С.157-175.
15. Гольденберг, Л.В. Масштабный фактор в мелкозернистых бетонах [Текст]: научное издание / Л.В. Гольденберг, С.Л. Оганесянц / Бетон и железобетон. -1987. - № 7. - С.17-18.
16. Апиев, А.Г. Искусственный конгломерат на основе барханных песков Узбекистана [Текст]: научное издание / А.Г. Апиев, А.У. Урупов, Х.Д. Аджибаев //Всесоюзная научно-техн. конф. "Теория, производство и применение искусственных строительных конгломератов в водохозяйственном строительстве Тез. докл.- Ташкент, 1985. - С. 13-14.
17. Исследование и применение мелкозернистых бетонов [Текст]: научное издание: //Тр. НИИЖБ. –М.:, 1978. Вып. 35. - 145 с.
18. Кан, П.Х. Бетоны для мелиоративного строительства [Текст]: научное издание. - Ташкент: "Узбекистан", 1980. – 123 с.
19. Мчедлов-Петросян, О.П., Пути использования в бетонах песков низкого качества [Текст]: научное издание в кн.: Применение мелких песков в бетоне и методы подбора состава бетона / О.П. Мчедлов-Петросян, Ф.А. Латышева - М.: Госстройиздат. -1961 - С.53-55.
20. Дворкин, Л.И. Наполненные мелкозернистые бетоны [Текст]: научное издание / Л.И. Дворкин, В.И. Соломатов, С.М. Чудновский, В.С. Гиль. // Резервы производства строительных материалов / Межвузовский сборник. Барнаул, 1988. - С. 116 -122.
21. Чистов, Ю.Д. Песчаные бетоны неавтоклавного твердения с химическими добавками [Текст]: научное издание / Ю.Д. Чистов, А.В.

Волженский, Е.А. Борисюк, О.Н. Пардаев // Долговечность конструкций из автоклавных бетонов. – Таллин: - 1937. - Часть 1. - С. 137-140.

21. Сакетов, Б.А. Исследование бетонов высоких марок с применением песков Казахстана: Автореф. Дис... к.т.н. – Киев: -1968. -23с.

22. Киреенко, И.А. Использование мелких песков для бетонов и растворов [Текст]: научное издание / Строительная промышленность. –1953. - № 12. - С.28 – 31.

23. Абрамзон, А.А. Поверхностно-активные вещества [Текст]: научное издание —Л.: Химия, 1981.— 304 с.

24. Алтунов, В.Д. Исследование процесса усталостного разрушения цементных бетонов при растяжении. Дисс... к.т.н.,-Харьков: 1973. – 156 с.

25. Аминов, Э.Х. Прогнозирование и обеспечение основных свойств цементных бетонов в зависимости от региональных климатических факторов. Дисс. ... д.т.н.,-Ташкент: 1990. – 416с.

26. Ахвердов, И.Н. Основы физики бетона [Текст]: научное издание —М.: Стройиздат, 1981. - 464с.

27. Бабаев, Н.Т. Энергосберегающая технология железобетонных конструкций из высокопрочного бетона с химическими добавками [Текст]: научное издание. / Н.Т. Бабаев, А.А. Комар -М: Стройиздат, 1987. – 240с.

28. Бабков, В.В. Физико-механические аспекты оптимизации структуры цементных бетонов. Дисс. ... д.т.н., -Уфа, 1990.— 510с.

29. Бабков, В.В. Аспекты долговечности цементного камня [Текст]: научное издание/ В.В. Бабков, А.Ф. Полак, П.Г. Комохов. – Цемент, 1988.— №3.— С.14-16.

30. Бабушкин, В.И. Физико-химические процессы коррозии бетона и железобетона [Текст]: научное издание. -М.: Стройиздат, 1968. - 187с.

31. Баженов, Ю.М. Бетонополимеры. —М.: Стройиздат, 1983.- 472с.

32. Баженов, Ю.М. Бетоны повышенной долговечности [Текст]: научное издание / Строительные материалы, 1999.— № 8.— с.21-22.

33. Баженов, Ю.М. Высококачественные бетоны. Материалы круглого стола по критическим технологиям в производстве строительных материалов и изделий [Текст]: научное издание. -М.: МГСУ, 1999. С.4-7.

34. Баженов, Ю.М. Высококачественный тонкозернистый бетон [Текст]: научное издание / Строительные материалы, 2000. – №2.— С. 24-25.

35. Баженов, Ю.М. Способы определения состава бетона различных видов [Текст]: научное издание. -М.: Стройиздат, 1975.— 268с.

36. Баженов, Ю.М. Технология бетона [Текст]: научное издание. -М.: Изд. АСВ, 2002.— 500 с.

37. Баженов, Ю.М. Технология и свойства мелкозернистых бетонов. [Текст]: учебное пособие./ Ю.М. Баженов, Л.А. Алимов, В.В. Воронин, Р.Б. Ергешев. -Алматы: КазГосИНТИ, 2000. – 195с.
38. Баженов, Ю.М. Перспективы применения математических методов в технологии сборного железобетона [Текст]: научное издание / Ю.М. Баженов, В.А. Вознесенский —М.: Стройиздат, 1974.–192с.
39. Баженов, Ю.М. Повышение долговечности бетона и железобетонных конструкций в суровых климатических условиях [Текст]: научное издание./ Ю.М. Баженов, Г.И. Горчаков, Л.А. Алимов, В.В. Воронин/-М.: Стройиздат, 1984.– 88с.
40. Баженов Ю.М. Мелкозернистые бетоны. [Текст]: учебное пособие. / Ю.М. Баженов, У.Х. Магдеев, Л.А. Алимов, В.В. Воронин -М.: Типография МГСУ, 1998. - 148с.
41. Баженов, Ю.М. Особо тонкодисперсные минеральные вяжущие в строительстве. Материалы круглого стола [Текст]: научное издание / Ю.М. Баженов, И.Я. Харченко —М.: МГСУ, 1999. – С. 1315.
42. Баранов, И.М. Методика определения рациональных составов тяжёлого бетона [Текст] // Строительные материалы, 1996.– №12. – С.11-14.
43. Баранов, И.М. Новые эффективные строительные материалы для создания конкурентных производств [Текст] // Строительные материалы, 2001.– №2. –С. 26-28.
44. Баженов, Ю.М. Строительные композиты на основе бетонного лома и отходов камнедробления [Текст]: научное издание / Ю.М. Баженов, С-А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов. -Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2014. – 334 с.
45. Демьянова, В.С. Эффективные строительные материалы с использованием техногенных отходов [Текст] / В.С. Демьянова, А.Д. Гусев. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 127 с.
46. Каприелов, С.С. Опыт производства и контроля качества высокопрочных бетонов на строительстве высотного комплекса "ОКО" в ММДЦ "Москва-Сити" [Текст] / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Д. Аль-Омаис [и др.] // Промышленное и гражданское строительство. -2018. -№ 1. - С. 18-24.
47. Лесовик, В.С. Строительные композиты на основе отсеков дробления бетонного лома и горных пород [Текст]: научное издание / В.С. Лесовик, С-А.Ю. Муртазаев, М.С. Сайдумов. –Грозный: МУП «Типография», 2012. – 192 с.

48. Лесовик, В.С. Текстиль-бетон - эффективный армированный композит будущего [Текст] / В.С. Лесовик, Д.Ю. Попов, Е.С. Глаголев // Строительные материалы. -2017. -№ 3. -С. 81-84.

49. Лесовик, В.С. Искусственные конгломераты с использованием техногенного сырья [Текст] / А.Д. Толстой, В.С. Лесовик, А.С. Милькина [и др.] // Актуальные проблемы современной строительной науки и образования: сб. науч. тр. Всерос. науч.-прак. конф. -2017. -С. 144-148.

50. Муртазаев, С-А.Ю. Мелкозернистые бетоны на основе наполнителей из вторичного сырья [Текст]: научное издание / С-А.Ю. Муртазаев, Д.К-С. Батаев, З.Х. Исмаилова [и др.]. -М.: «Комтехпринт», 2009. - 142 с.

51. Муртазаев, С-А.Ю. Прессованные мелкозернистые цементобетоны на модифицированном заполнителе [Текст]: научное издание / С-А.Ю. Муртазаев, Д.К-С. Батаев, М.Ш. Саламанова. -Грозный: ФГУП «Издательско-полиграфический комплекс «Грозненский рабочий», 2014 – 160 с.

52. Барканов, М.Б. Технология и организация строительства и ремонта зданий и сооружений [Текст]: научное издание/ -М.: Высшая школа, 1985.– 320с.

53. Батраков, В.Г. Модифицированные бетоны. Теория и практика. [Текст]: научное издание 2-е, переработанное и дополненное /-М.: Технопроект, 1998. – 768с.

54. Батраков, В.Г. Исследование и применение химических добавок в бетонах. [Текст]: Сб. науч. тр. / В.Г. Батраков, В.Р. Фаликман -М.: НИИЖБ, 1989. –139с.

55. Блэнк, Р., Кеннеди Г. Технология цемента и бетона [Текст]: научное издание/ Р. Блэнк, Г. Кеннеди —М.: Промстройиздат, 1975. – 328с.

56. Боженков, П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология [Текст]: научное издание -М.: Изд. АСВ, 1994. – 264с.

57. Болтрык, М. Проблемы интенсификации процессов приготовления и уплотнения жёстких бетонных смесей. Дисс. ... д.т.н., -М., 1990. – 484с.

58. Борисов, А.А. Особенности подбора материалов при разработке составов и технологии высокопрочных бетонов [Текст] / А.А. Борисов, Л.Г. Поляков, В.В. Викторов и [др] / Строительные материалы, 2001.– №6. – С.28-29.

59. Бровцин, А.К. Создание высокопрочных и безопасных бетонов [Текст] / Промышленное и гражданское строительство, 2001. – №4. - С.55-56.

60. Брынзин, В.А. Структурные характеристики песчаных бетонов и их связь с техническими свойствами [Текст]/ В.А. Брынзин, Т.Е. Грибкова, В.Р. Гаррапин / Тезис докл. респуб. конф. «Ресурсосберегающие технологии, структура и свойства дорожных бетонов». -Харьков, 1989.– С.143-144.
61. Бунин, М.В. Структура и механические свойства дорожных цементных бетонов [Текст]: научное издание / М.В. Бунин, И.М. Грушко, А.Г. Ильин -Харьков: Изд. ХГУ, 1968. – 199 с.
62. Вознесенский, В.А. Улучшение свойств мелкозернистого бетона. Дисс. ... к.т.н., -М.: 1962.– 197с.
63. Волженский, А.В. Изменение в абсолютных объёмах фаз при взаимодействии неорганических вяжущих с водой и их влияние на свойства образующихся структур [Текст]: научное издание. – Строительные материалы, 1989. - №8. – С.25-27.
64. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст]: научное издание. -М.: Стройиздат, 1986. – 464с.
65. Волков, Ю.С. Применение сверхпрочных бетонов в строительстве [Текст] /– Бетон и железобетон, 1994. – №7. – С.27-31.
66. Воронин, А.И. Новые строительные материалы и технологии их применения [Текст] / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2000. – №1.– С.3-5.
67. Гадаев, Н. Передовая технология восстановительного ремонта мостовых конструкций [Текст] / Вестник мостостроения, 1998. - №2– С.26-27.
68. Гершберг, О.А. Технология бетонных и железобетонных изделий [Текст]: учебное издание / -М.: Изд. литературы по строительству, 1971.– 359с.
69. Гольденберг, Л.Б. Изделия из песчаных бетонов с химическими добавками. Обзор. [Текст]: научное издание / Л.Б. Гольденберг, С.Л-М. Оганесянц / -М.: ВНИИЭСМ, 1988.- 61с.
70. Гольдин, М.Б. Производство ремонтно-строительных работ. [Текст]: справочное пособие. / М.Б. Гольдин, В. Вольфсон, А.И. Панков и [др] /-Л.: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1989. – 239с.
71. Горецкий, Л.И. Теория и расчёт цементобетонных покрытий при температурных воздействиях [Текст] / -М.: Транспорт, 1965. – 284с.
72. Городецкий, Л.В. Основные направления исследований в области бетонных конструкций городских дорог [Текст]: научное издание / Л.В. Городецкий, В.М. Гольдин, Р.И. Бега, А.М. Балашов / Промышленное и гражданское строительство, 1998. – №9. - С.29-32.

73. Горчаков, Г.И. Строительные материалы [Текст]: учебное издание./ Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов / -М.: Стройиздат, 1986.– 688с.
74. Горчаков, Г.И. Долговечность бетонных бортовых камней [Текст]: научное издание /Г.И. Горчаков, Л.П. Орендлихер / Строительные материалы, 1997. – №11.– С.18-19.
75. Горчаков, Г.И. Состав, структура и свойства цементных бетонов [Текст]: научное издание / Г.И. Горчаков, Л.П. Орендлихер, В.И. Савин /— М.: Стройиздат, 1976. – 145с.
76. Грушко, И.М. Структура и прочность дорожного цементного бетона [Текст]: научное издание / И.М. Грушко, Н.Ф. Глушенко, А.Г. Ильин/ -Харьков: Изд. ХГУ, 1968. –135с.
77. Грушко, И.М. Прочность бетонов на растяжение [Текст]: научное издание / И.М. Грушко, А.Г. Ильин, С.Т. Рашевский / -Харьков: Изд. ХГУ, 1973. – 156с.
78. Грушко, И.М. Повышение прочности и выносливости бетона [Текст]: научное издание / И.М. Грушко, А.Г. Ильин, Э.Д. Чихладзе/ - Харьков: Вища школа, 1986. – 152с.
79. Гузеев, Е.А. Механика разрушения в оценке долговечности бетона [Текст]: научное издание / Бетон и железобетон, 1997.– №5.– С.36-37.
80. Дворкин, Л.И. Оптимальное проектирование составов бетона [Текст]: научное издание/ -Львов.: Вища школа, 1981.– 157с.
81. Десов, А.Е. Некоторые вопросы структуры, прочности и деформации бетонов [Текст]: научное издание в кн.: Сб. докл. НИИЖБ, - М.,1966. С.32-36.
82. Добролюбов, Г.В. Прогнозирование долговечности бетона с добавками [Текст]: научное издание/ Г.В. Добролюбов, В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг/ -М.: Стройиздат, 1983. – 212с.
83. Добшиц, Л.М. Влияние свойств цемента на морозостойкость бетонов [Текст] / Л.М. Добшиц, В.И. Соломатов / Бетон и железобетон, 1999. – №3.– С. 19-21.
84. Евдокимов, А.В. Использование латексов в стеновых отделочных материалах [Текст]//–Строительные материалы, 1999. – №2. - С.45-46.
85. Еремеев, Г.Г. К вопросу о морозостойкости бетона [Текст] /— Бетон и железобетон, 1964.– №2. – С.20-21.
86. Естемесов, З. А. Стойкость железобетона в различных средах [Текст] / З.А. Естемесов, А.С. Куртаев / Строительные материалы, 1999.– № 8.– С.42-44.

87. Железобетон в XXI веке. Состояние и перспективы развития бетона и железобетона в России [Текст]: научное издание / Госстрой России; НИИЖБ. —М.: Готика, 2001. — 684с.
88. Зайцев, Ю.В. Механика разрушения для строителей [Текст]: научное издание/ -М.: Высшая школа, 1991. — 288с.
89. Звездов, А.И. Бетон с компенсированной усадкой для возведения трещиностойких конструкций большой протяжённости [Текст] / А.И. Звездов, М.Ю. Титов / Бетон и железобетон, 2001. - №4. — С. 17-20.
90. Иванов, И.А. О закономерностях, определяющих связь между однородностью бетона и его свойствами. [Текст] в сб.: Структурообразование и органическая коррозия цементных и полимерных бетонов. -Саратов-Пенза, 1967. 223с.
91. Измайлова, Е.В. Повышение стойкости бетонов в условиях капиллярного всасывания растворов солей и испарения [Текст]/ Дисс. ... к.т.н.,-М., 1993. — 196с.
92. Иноземцев, Ю.П. Деформационное упрочнение цементного камня и бетона [Текст]/ Дисс. ... д.т.н., -Благовещенск, 1990. — 290с.
93. Калашников, В.И. Влияние суперпластификатора на твердение цемента [Текст] / В.И. Калашников, Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова и [др] / Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века, 2000. - №1. — С.28-29.
94. Каприелов, С.С. Высокопрочные бетоны повышенной морозостойкости с органоминеральным модификатором [Текст]/ С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Е.С. Силина и [др] / Транспортное строительство, 2000. — №11. — С.24-27.
95. Киреева, Е.В. Исследование процессов разрушения дорожных бетонов при совместном влиянии механических нагрузок и воздействия среды [Текст]/ Дисс. ... к.т.н., -Харьков, 1978. — 173с.
96. Козлов, В.В. Эффективные материалы для замоноличивания дефектов и ликвидации повреждений в конструкциях. Новые материалы для ремонтно- восстановительных работ и реставрации памятников архитектуры [Текст] / Тезисы докладов 2-ой международной научно-технической конференции, - Самарканд, 1992. — С. 10-12.
97. Колодкин, А.А., Слипченко Г.Ф., Кузнецова Л.Г., Ларкина В.И. Новые строительные материалы на основе водных дисперсий полимеров [Текст]/ А.А. Колодкин, Г.Ф. Слипченко, Л.Г. Кузнецова —М.: ВНИИСЭМ, 1988. — 77с.



98. Комохов, П.Г. Влияние полимерных добавок на выносливость мелкозернистого бетона [Текст] в кн.: сб. тр. Ленингр. инст. инж. жел. дор. транспорта. / П.Г. Комохов, Т.М. Петрова -Л., 1976. – С.11-13.

99. Коршунов, В.И. Исследование морозостойкости дорожного бетона с комплексной добавкой ПАВ на песках различной крупности. Повышение долговечности цементобетонных покрытий и совершенствование технологии их строительства [Текст] научное издание/ В.И. Коршунов, А.М. Шейнин, Ю.Г. Ланге / —М.: Союздорнии, 1981. – С.32-36.

100. Кринкин, И.Л. Бетон модифицированный термопластичным полимером [Текст] научное издание/ И.Л. Кринкин, М.Г. Алтыкис / Изв. вузов. Строительство, 1977. – №12.– С.17-19.

101. Муртазаев, С-А. Ю. Современные подходы к использованию природного сырья горных территорий для получения эффективных строительных композитов [Текст] / С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, Р.Г. Бисултанов, Т.С-А. Муртазаева // Устойчивое развитие горных территорий, 2016. – №3 (Т.8). – С.238-247.

102. Муртазаев, С-А. Ю., Саламанова М.Ш., Бисултанов Р.Г. Влияние тонкодисперсных микронаполнителей из вулканического пепла на свойства бетонов [Текст] / С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова, Р.Г. Бисултанов // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 95-летию ФГБОУ ВО «ГГНТУ им. акад. М.Д. Миллионщикова», Грозный: ГГНТУ, 2015.– т. 1.– С. 171-176.

103. M. Rzczycka, R. Mysielski, W. Kowalski, M. Gałazka Biotransformation of phosphogypsum in media containing different forms of nitrogen // Acta Microbiol. Polon. 2001. 50 (3/4). pp. 281.

104. Саламанова, М.Ш., Сайдумов М.С., Алиев С.А., Муртазаева Т.С-А. / Самоуплотняющиеся бетоны для устройства монолитных сейсмостойких конструкций высотных зданий и сооружений. [Текст] / М.Ш. Саламанова, М.С. Сайдумов, С.А. Алиев, Т.С-А. Муртазаева / Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки.– 2016. – №4(43).– С.133-144.

105. Муртазаев С-А.Ю. Саламанова М.Ш. Высокопрочные бетоны с использованием фракционированных заполнителей из отходов переработки горных пород [Текст] / С-А.Ю. Муртазаев, М.Ш. Саламанова // Журнал «Устойчивое развитие горных территорий». 2015.– № 1(23). – С.23-28.

106. Саламанова, М.Ш., Сайдумов М.С., Муртазаева, Т.С-А., Хубаев М. С.-М. Высококачественные модифицированные бетоны на основе минеральных добавок и суперпластификаторов различной природы [Текст] / М.Ш. Саламанова, М.С. Сайдумов, Т.С-А. Муртазаева, М.С-М. Хубаев //

Научно-аналитический журнал «Инновации и инвестиции» №8. – 2015. – С.159-163.

107. Кузин, В.Н., Младова М.В., Мирзабаев Т.Н. Составы мелкозернистого бетона и их влияние на формуемость, структуру и прочность. [Текст] научное издание / В.Н. Кузин, М.В. Младова, Т.Н. Мирзабаев. -М.:, 1985. – 212с.

108. Фаликман, В. А. Новое поколение суперпластификаторов [Текст] / В. А. Фаликман // Бетон и железобетон. - 2000. - № 5. - С. 5-7.

109. Федосов, С. В. Оценка коррозионной стойкости бетона при образовании и росте кристаллов системы этtringиттаумасит [Текст] / С. В. Федосов, С. М. Базанов // Строительные материалы - наука. - 2003. - № 1. - С. 13 -15.

110. Хигерович, М. И. Синтетические жирные кислоты как добавки к цементным системам. [Текст] / М. И. Хигерович, Г. Г. Зуйков // Сборник докладов МИСИ «Улучшение свойств бетона». - Москва, 1964. - С. 230.

111. Хигерович, М. И. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов [Текст] / М. И. Хигерович, В. Е. Байер // — Москва : Стройиздат, 1979. — 126 с. : ил.

112. Хозин, В. Г. Модификация цементных бетонов малыми легирующими добавками [Текст] / В. Г. Хозин // Строительные материалы. - 2006. - № 10. — С. 30-31.

113. Чистов, Ю. Д. Разработка многокомпонентных минеральных вяжущих веществ [Текст] / Ю. Д. Чистов, А. С. Тарасов // Российский химический журнал. - 2003. - Т. 47, № 4. - С. 12-17.

114. Чистов, Ю. Д. Наномодификаторы в неавтоклавном ячеистом бетоне [Текст] / Ю. Д. Чистов, М. В. Краснов // Технологии бетона. - 2010. - №7-8. - С. 68-71.

115. Панченко, А.И. Критерий стойкости бетона к атмосферным воздействиям с позиций механики разрушения [Текст] // Изв. вузов. Строительство, 1995, №2, С.55- 60.

116. Панченко, А.И. Обеспечение стойкости бетона к физическим воздействиям внешней среды путём управления собственными деформациями [Текст] Автореф. дисс. ... д.т.н., -Ростов на дону, 1996, 36с.

117. Чулкова, И. Л. Влияние суперпластификаторов на свойства водных суспензий клинкерных минералов и формирование механической прочности при их твердении [Текст] / И. Л. Чулкова, Г. И. Бердов // Изв. вуз. Стр.-во. - 2009. - № 1. - С. 52-57.

118. Шейкин, А. Е. Структура и свойства цементных бетонов [Текст] / А. Е. Шейкин, Ю. В. Чеховский, М. И. Бруссер. - Москва : Стройиздат, 1979. - 344 с.
119. Шестоперов, С. В. Сульфатостойкость и содержание алюминатов в цементах [Текст] / С. В. Шестоперов, Ф. М. Иванов // Бетон и железобетон. - 1963. - № 8. - С. 16.
120. Шмигальский, В. Н. Определение оптимального соотношения между мелким и крупным заполнителями [Текст] / В. Н. Шмигальский // Изв. вузов. Стр-во и архитектура. - 1967. - № 9. - С. 69-72.
121. Шмигальский, В. Н. Оптимизация состава цементобетонов [Текст] / В. Н. Шмигальский. - Кишинев : Штиинца, 1981. - 124 с.
122. Muhammad, N.Z. Waterproof performance of concrete: A critical review on implemented approaches [Text] / Nasiru Zakari Muhammad [et al.] // Construction and Building Materials. - 2015. - Vol. 101, Part 1. - P. 80-90.
123. Ngoc, Thanh Tran. Fracture energy of ultra-high-performance fiber-reinforced concrete at high strain rates. [Text]/ Thanh Tran Ngoc [et al.] // Cement and Concrete Research. - 2015. - Vol. 79. - P. 169-184.
124. Plank, J. Chemical admixtures - Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability [Text] / J. Plank [et al.] // Cement and Concrete Research. - 2015. - Vol. 78, Part A. - P. 81-99.
125. Ribeiro, M. C. S. Mix design process of polyester polymer mortars modified with recycled GFRP waste materials [Text] / M. C. S. Ribeiro [et al.] // Composite Structures. 2013. - Vol. 105. - P. 300-310.
126. Shatat, M. R. Effect of hydrothermal curing on the hydration characteristics of artificial pozzolanic cement pastes placed in closed system [Text] / M. R. Shatat. // Applied Clay Science. - 2014. - Vol. 96. - Special Issue: SI. - P. 110-115 .
127. Sun, Hongfang. Influence of ultrafine 2CaO center dot SiO<sub>2</sub> powder on hydration properties of reactive powder concrete [Text]/ Sun Hongfang, Zishanshan Li, Shazim Ali Memon [et al.] // Materials. - 2015. - Vol. 8. - № 9. - P. 6195-6207.
128. Skazlic, M. Application of high performance fibre reinforced shotcrete for tunnel primary support [Text] / M. Skazlic, Z. Skazlic, J. Majer // Proceedings of the 10th International Conference. - Shotcrete for Underground Support, Whistler. - 2006. P. 206-214.
129. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete [Text]. Farn- ham, February, 2002. - Norfolk : EFNARC. - 2002. - 32 p.

130. Shi, X. S. Mechanical properties and microstructure analysis of fly ash geopol- ymeric recycled concrete [Text] / X. S. Shi, E. G. Collins, X. L. Zhao [et al.] // Journal of Hazardous Materials. - 2012. - Vol. 237. - P. 20-29.

131. Superplasticizers for concrete. Fundamentals, technology and practice [Text] / N. Spiratos [et al.]. - Quebec, 2006. - 323 s.

132. Sudarsana, Rao H. Strength and workability characteristics of fly ash based glass fibre reinforced high-performance-concrete [Текст] / H. Sudarsana Rao, H. M. Somashekaraiah, Vaishali. G.Ghorpade // International Journal of Engineering Science and Technology. - 2011. - Vol. 3. - №8. - P. 6266-6277.

133. Swaminatham, V. Polydisperse powder mixtures: effect of particle size and shape on mixture stability [Text] / V. Swaminatham, D. O. Kildsig // Drug Dev Ind Pharm. - 2002. - N 28 (1). - P. 41-48.

134. Юхневский, П. И. Критериальная оценка добавок-пластификаторов бетонных смесей для прогноза их эффективности [Текст] / П. И. Юхневский // Изв. вуз. Стр.-во. - 2012. - № 5. - С. 36-43.

135. Батраков, В. Г. Исследование прочностных характеристик и стойкости бетонов, модифицированных кремнийорганическими олигомерами и некоторыми комплексными добавками на их основе [Текст] / В. Г. Батраков, Е. С. Силина // Повышение стойкости бетона и железобетона при воздействии агрессивных сред. - Москва : Стройиздат, 1975. - С. 163-170.

136. Батраков, В. Г. Теория и перспективные направления развития работ в области модифицирования цементных систем [Текст] / В. Г. Батраков // Цемент. - 1999. - № 5-6. - С. 14-20.

137. Батраков, В. Г. К вопросу об оптимальных параметрах системы условно замкнутых пор в морозостойких бетонах повышенной прочности / В.Г. Батраков, О.В. Кунцевич // Бетоны с эффективными модифицирующими добавками. - М. : НИИЖБ. - 1985. - С. 71-77.

138. Батяновский, Э. И. Эффективность и проблемы энергосберегающих технологий цементного бетона/ Э. И. Батяновский, Е. А. Иванова // Строительная наука и техника. - 2006, - № 3. - С. 7 - 17.

139. Белов, В.В. Методология проектирования оптимальных структур цементных бетонов [Текст] / В. В. Белов, И. В. Образцов, П. В. Куляев // Строительные материалы. - 2013. - № 3. - С. 17-21.

140. Белых, С. А. Модифицированные и немодифицированные тонкодисперсные отходы промышленности в бетонах и строительных растворах / С. А. Белых, А. М. Фадеева // Технологии бетонов. - 2008. - № 10. - С. 24-26.

141. Бетоны с модифицирующими добавками на основе вторичного сырья [Текст] / О. В. Тараканов. - Пенза : ПГУАС, 2004. - 564 с.

142. Блещик, Н. П. Кинетика набора прочности мидифицированного бетона в различных температурных условиях [Текст] / Н. П. Блещик, А. Н. Рак // Проблемы современного бетона и железобетона / Институт БелНИИС. - Минск. - 2011. - Выпуск № 9. - С. 122-150.
143. Власенко, А. М. Отечественные добавки для бетона на основе поликарбонатов [Текст] / А. М. Власенко // Технологии бетонов. - 2009. - № 2. - С. 10-12.
144. Вовк, А. И. Современные представления о механизме пластификации цементных систем [Текст] / А. И. Вовк // II Всероссийская конференция по бетону и железобетону. Бетон и железобетон - пути развития. Т. 3. Технология бетона. - М.: Дипак. - 2005. - С. 740-753.
145. Дворкин, Л. И. Испытания бетонов и растворов. Проектирование их составов [Текст] / Л. И. Дворкин, В. И. Гоц, О. Л. Дворкин. - Москва: Инфра- Инженерия, 2014. - 432 с.
146. Дорф, В. А. Сравнительные исследования эффективности современных пластифицирующих добавок для монолитного бетона [Текст] / В. А. Дорф // Технологии бетонов. - 2012. - № 5-6. - С. 10-15.
147. Запольный, А. К. Повышение коррозионной стойкости портландцемента [Текст] / А. К. Запольный, Г. А. Пасечник, Л. В. Коновалова // Строительные материалы и конструкции. - 1988. - N 1. - С. 25-26.
148. Узаева, А.А. Ремонтные составы на основе композиционных вяжущих [Текст] / А.А. Узаева - Научный журнал «Успехи современной науки и образования» № 5, Т.3, 2016. С. 109-113.
149. Узаева, А.А. Технология и основные виды материалов, применяемые при промышленных методах отделки [Текст] / А.А. Узаева, Д.К-С. Батаев - Научный журнал «Успехи современной науки и образования» № 6. – Т.3. – 2016. – С.137-141.
150. Узаева, А.А. Ремонтные составы на основе полимерных вяжущих [Текст] / А.А. Узаева - Научно-аналитический журнал «Инновации и инвестиции» № 4. – 2016. – С.134-139.
151. Узаева, А.А. Опыт использования барханных песков в строительстве [Текст] / А.А. Узаева - Сборник научных трудов международной научной конференции «Тенденции и перспективы развития современного научного знания» 8-9 октября 2015. – С.54-57.
152. Узаева, А.А. Омоноличивание контактной зоны и обеспечение сцепления старого бетона с новым [Текст] / А.А. Узаева - Научный журнал «Содружество» №1 (1). – 2016. – С.35-38.

153. Зоткин, А. Г. Определение оптимальной дозировки суперпластификатора в бетоне [Текст] / А. Г. Зоткин // Технологии бетонов. - 2013. - № 3. - С. 35-40.

154. Исследования в области защиты бетона и железобетона от коррозии в агрессивных средах [Текст] : сб. тр. НИИЖБ. - Москва : Стройиздат, 1984. - 72 с.

155. Калашников, В. И. Как превратить бетоны старого поколения в высокоэффективные бетоны нового поколения [Текст] / В. И. Калашников // Бетон и железобетон. Оборудование. Материалы. Технологии. - 2012. - Вып. 1. - С. 82-89.

156. Каприелов, С. С. Новые модифицированные бетоны [Текст] / С. С. Каприелов, А. В. Шейнфельд, Г. С. Кардумян. - Москва: ООО «Типография «Парадиз», 2010. - 258 с.

157. Колокольникова, Е. И. Долговечность строительных материалов [Текст] / Е. И. Колокольникова. - Москва : Высш. шк., 1975. - 159 с. : ил.

158. Комохов, П. Г. Наноструктурная модель цементного камня для оценки свойств композиционного материала [Текст] / П. Г. Комохов, А. М. Харитонов // Популярное бетоноведение. — 2007. — № 2 (16). — С. 125-127.

159. Коррозия бетона и железобетона, методы их защиты [Текст] / В. М. Москвин [и др.]; под общ. ред. В. М. Москвина. – М.: Стройиздат, 1980. - 536 с.

160. Матюхин, С. И. Поверхностное натяжение и антиадгезионные свойства тонкопленочных покрытий [Текст] / С. И. Матюхин [и др.] // Труды 6-й Международной конференции «Пленки и покрытия - 2001». - Санкт-Петербург: СПбГТУ. - 2001. - С. 577-581.

161. Мещанский, Н. А. Плотность и стойкость бетонов [Текст] / Н. А. Мещанский. - Москва : Госстройиздат, 1961. - 175 с. : ил.

162. Москвин, В. М. Долговечность бетона с добавками кремнийорганических соединений [Текст] / В. М. Москвин, В. Г. Батраков // Бетон и железобетон. - 1964. - № 2. - С. 52-56.

163. Москвин, В. М. О прогнозировании долговечности железобетонных конструкций, эксплуатируемых в агрессивных средах [Текст] / В. М. Москвин, С. Н. Алексеев, Е. А. Гузеев // Коррозия бетона и повышение долговечности железобетонных конструкций. - Ростов-на-Дону. - 1985. - С. 69-71.

164. Москвин, В. М. Коррозия бетонов [Текст] / В. М. Москвин - Москва : Стройиздат, 1952. - 342 с.

165. Пухаренко, Ю. В. Коррозионностойкие наномодифицированные цементные бетоны [Текст] / Ю. В. Пухаренко // Технологии бетонов. - 2010. - № 7-8. - С. 24-28.

166. Проектирование и анализ эффективности составов бетона [Текст] / О. Л. Дворкин [и др.]: моногр. - Ровно, 2008. - 178 с.

167. Пухаренко, Ю. В. Роль комплексных добавок в получении долговечных цементных композитов [Текст] / Ю. В. Пухаренко, В.Д. Староверов // Научно-исследовательская работа студентов, аспирантов и молодых ученых СПбГАСУ: сб. научных трудов студентов, аспирантов и молодых ученых победителей конкурсов 2011 г. Вып. 7. - СПб.: СПбГАСУ. - 2012. -С. 129-141.

168. Алиев, А.Г. Высокопрочные бетоны на барханных песках. - Шлакощелочные цементы, бетоны и конструкции [Текст] / А.Г. Алиев, П.Х. Кан, В.В. Чиркова // Тез. докл. науч. Всесоюзной конференции. -Киев, 1979. – С.97-98.

169. Гончаров, В.В. Исследование специальных свойств грунтосиликатных бетонов для гидротехнического строительства [Текст] / В.В. Гончаров, В.П. Ильин, О.Н. Сикорский // Строительное производство, вып. VIII. -Киев: Будівельник, 1968. – С.18-19.

170. Сикорский, О.Н. Коррозионная стойкость грунтосиликатных бетонов. -Исследование и внедрение в производство грунтосиликатных материалов, конструкций и изделий [Текст] / О.Н. Сикорский // Материалы П-й научно-технической конференции.-Киев, 1968. – С.43-44.

171. Серых, Р.Л. Конструкции из шлакощелочных бетонов [Текст] / Р.Л. Серых, В.А. Пахомов // – М.: Стройиздат, 1988. – 160 с.

172. Марданова, Э.И. Высокодисперсные наполненные цементы с использованием глинистых песков [Текст] / Э.И. Марданова // Современные проблемы строительного материаловедения. Шестые академические чтения РААСН (Иваново). - 2000. - С.333-337.

173. Salamanova M.Sh., Murtazayev S. Yu. Clinker-free binders based on finely dispersed mineral components // 20. Internationale Baustofftagung, Tagungsbericht. 12-14 september 2018, Bauhaus-Universitdt Weimar. Band 1 und 2. – Weimar: 2018. -В.2. –pp.707-714.

174. Ольгинский А.Г. Пылеватые минеральные добавки к цементным бетонам [Текст] / А.Г. Ольгинский // Строительные материалы и конструкции. — 1990. -№3. -С. 18.

## Приложение 1

Генеральный директор  
КП ЧР «Дирекция по строительно-  
восстановительным работам в ЧР»  
Р.Р. Юшаев  
«12» мая 2018 г.

## АКТ

о выпуске опытной партии ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона класса В40 на тонкомолотом вяжущем с использованием барханных песков и поликарбоксилатной добавки Sika Viscocrete 5 New в промышленных условиях для ремонта железобетонных конструкций при строительстве жилого комплекса «Солнечный» по адресу г. Грозный, ул. Старопромысловское шоссе, 24.

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер КП ЧР «Дирекция по строительно-восстановительным работам в Чеченской Республике», Гарибеков Хасолта Темирболтович и представители лаборатории металлов, сплавов и композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, д-р. техн. наук, профессор Батаев Дена Карим-Султанович, аспирант Узаева Амина Альвиевна составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон на основании результатов исследований, проведенных в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, при выполнении диссертационной работы на тему: «Комплексные ремонтные составы на основе барханного песка», выпущена опытная партия ремонтного состава из мелкозернистого бетона класса В40 на тонкомолотом вяжущем с использованием барханных песков и поликарбоксилатной добавки Sika Viscocrete 5 New.

По приблизительным подсчетам объем ремонтного модифицированного состава из мелкозернистого бетона класса В40, использованного для ремонта железобетонных конструктивных элементов составил более 100 м<sup>3</sup>. По проектным требованиям поставлялся бетон класса В40 с прочностью на сжатие 60,2 МПа; прочностью на растяжение при изгибе 6,5 МПа; водопоглощением 4,2 % по массе, морозостойкостью F350, водонепроницаемостью W14 при ремонте монолитного каркаса жилых домов.

Настоящим подтверждаем, что при реализации мероприятий в соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 10 мая 2016 г. N 868-р «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» по технико-экономическим показателям эффективно использование ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на тонкомолотом вяжущем с использованием барханных песков и поликарбоксилатной добавки Sika Viscocrete 5 New.

Представитель КП ЧР «Дирекция по строительно-  
восстановительным работам в ЧР»:  
Главный инженер

Х.Т. Гарибеков

Представители КНИИ РАН им. Х.И. Ибрагимова:  
Научный руководитель  
д-р. техн. наук, профессор

Д.К.-С. Батаев

Аспирант

А.А. Узаева



**Приложение 2**  
**УТВЕРЖДАЮ**  
 Генеральный директор  
 КП ЧР «Дирекция по строительно-  
 восстановительным работам в ЧР»  
*Юшаев Р.Р.* Р.Р. Юшаев  
 «12» мая 2018 г.

### АКТ

о производственном внедрении ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона класса В40 на тонкомолотом вяжущем с использованием барханных песков и карбоксилатной добавки Sika Viscocrete 5 New в промышленных условиях для ремонта железобетонных конструкций при строительстве жилого комплекса «Солнечный» по адресу г. Грозный, ул. Старопромысловское шоссе, 24.

Мы, нижеподписавшиеся, главный инженер КП ЧР «Дирекция по строительно-восстановительным работам в ЧР», Гарибеков Хасолта Темирболтович и представители лабораторий металлов, сплавов и композиционных материалов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Комплексного научно-исследовательского института им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, д-р. техн. наук, профессор Батаев Дена Карим-Султанович, аспирант Узаева Амина Альвиевна составили настоящий акт о нижеследующем.

По согласованию сторон, на основании результатов исследований, проведенных в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Комплексный научно-исследовательский институт им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук, при выполнении диссертационной работы на тему: «Комплексные ремонтные составы на основе барханного песка», была внедрена опытная партия ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона класса В40 на тонкомолотом вяжущем с использованием барханных песков и карбоксилатной добавки Sika Viscocrete 5 New для ремонта железобетонных конструкций при строительстве жилого комплекса «Солнечный» по адресу г. Грозный, ул. Старопромысловское шоссе, 24

По приблизительным подсчетам объем ремонтного модифицированного состава из мелкозернистого бетона класса В40, использованного для ремонта железобетонных конструктивных элементов составил более 100 м<sup>3</sup>. По проектным требованиям поставлялся бетон класса В40 с прочностью на сжатие 60,2 МПа; прочностью на растяжение при изгибе 6,5 МПа; водопоглощением 4,2 % по массе, морозостойкостью F350, водонепроницаемостью W14 при ремонте монолитного каркаса жилых домов.

Настоящим подтверждаем, что при реализации мероприятий в соответствии с Распоряжением Правительства РФ от 10 мая 2016 г. N 868-р «Стратегия развития промышленности строительных материалов на период до 2020 года и дальнейшую перспективу до 2030 года» по технико-экономическим показателям эффективно использование ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона на тонкомолотом вяжущем с использованием барханных песков и поликарбоксилатной добавки Sika Viscocrete 5 New.

Представитель КП ЧР «Дирекция по строительно-восстановительным работам в ЧР»:  
 Главный инженер

*Х.Т. Гарибеков*  
 Х.Т. Гарибеков

Представители КНИИ РАН им. Х.И. Ибрагимова:  
 Научный руководитель  
 д-р. техн. наук, профессор  
 Аспирант

*Д.К.-С. Батаев*  
 А.А. Узаева



Приложение 3

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение науки  
Комплексный научно-исследовательский институт  
им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук


УТВЕРЖДАЮ  
Директор КНИИ РАН,  
д.т.н., проф.  
Д.К.-С. Батаев  
«10» апреля 2018 г.




РЕМОНТНЫЙ МОДИФИЦИРОВАННЫЙ СОСТАВ ИЗ  
МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА  
Технические условия  
ТУ 5746-016-02066339-2018


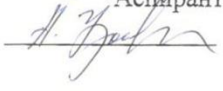
Введены с 12 апреля 2018 г.

## СОГЛАСОВАНЫ:

Генеральный директор  
КП ЧР «Дирекция по строительно-  
восстановительным работам в ЧР»  
 Р.Р. Юшаев  
«10» апреля 2018 г.



## РАЗРАБОТАНЫ:

 Профессор, д.т.н.,  
Д.К.-С. Батаев  
Аспирант КНИИ РАН  
 А.А. Узаева

На основании проведенной работы были составлены Технические условия на приготовление комплексного ремонтного модифицированного состава из мелкозернистого бетона и рекомендации приготовления ремонтных модифицированных смесей для проведения ремонтно-восстановительных работ в строительстве.

Настоящие Технические условия распространяются на ремонтный модифицированный состав из мелкозернистого бетона класса по прочности В30 – В50 на тонкомолотом вяжущем на основе портландцемента, барханных песков и С-3, фракционированном мелком заполнителе и химической добавке. Ремонтная смесь готовится на бетоносмесительном узле и предназначена для проведения ремонтно-восстановительных работ в строительстве, как в летних, так и в зимних условиях.

### 1. Технические требования

Характеристики исходных материалов:

– Песок барханный месторождения Шелковское использовался в качестве тонкодисперсного компонента для получения тонкомолотого виброактивированного вяжущего и, как составляющая мелкого заполнителя при смешивании его с отсевом дробления в соотношении 40:60 %. Основные характеристики и показатели качества в соответствии с требованием ГОСТ 8735-01.

Таблица 1 – Основные физико-механические барханных песков

Размер сит, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Остаток на дне сит
Частные остатки, %	-	3,5	2,7	3,1	31,7	59
Полные остатки, %	-	3,5	6,2	9,3	41,0	
Модуль крупности	0,6					
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	5,4					
Истинная плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	2650					
Средняя насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1390					
Пустотность песка, %	48					
Водопоглощаемость, %	12					

– Отсев дробления Аргунского месторождения соответствовал требованиям ГОСТ 8735 «Песок для строительных работ. Методы испытаний» и ГОСТ 8269.0 «Щебень и гравий из плотных горных пород и

отходов промышленного производства для строительных работ. Методы физико-механических испытаний».

Таблица 2–Характеристики Аргунского отсева дробления

Размер сит, мм	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	Остаток на дне сит
Частные остатки, %	2,2	39,2	16,0	19	13	7,4	3,2
Полные остатки, %	2,2	41,4	57,4	76,4	89,4	96,8	
Модуль крупности	3,58						
Содержание пылевидных и глинистых частиц, %	2,4						
Истинная плотность зерен, кг/м <sup>3</sup>	2620						
Средняя насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	1510						
Пустотность песка, %	42,2						

– Портландцемент марки М500 Д0 Чири-Юртовского цементного завода.

Плотность 3,075 г/см<sup>3</sup>, насыпная плотность 1300 кг/м<sup>3</sup>, водопотребность – 20,5%, начало схватывания – 1,25 ч, конец – 6,8 ч

Таблица 3–Минералогический состав портландцемента

Минералы	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Количество, %	59	15	8	12

Таблица 4– Химический состав портландцемента, %

SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Гипс	ппп
20,46	1,78	4,8	4,11	62,42	3,07	3,83	1,65

В качестве пластифицирующей добавки в соответствии с ГОСТ 24211-91 «Добавки для бетонов. Общие технические требования» был использован суперпластификатор SIKА VISCOCRETE 5 NEW, соответствующий ТУ 2493-13613997-2011, и состоящий из поликарбоксилатных эфиров.

Таблица 5–Технические характеристики суперпластификаторов

Наименование добавки	SIKA® VISCOCRETE® 5 NEW
Основа	Водные растворы поликарбоксилатных эфиров
Внешний вид	Жидкость бесцветного цвета

Плотность (при 20 °С)	1,07-1,09 кг/дм <sup>3</sup>
Показатель рН	4,0-6,0
Соответствует	ТУ 2493-13613997-2011
Рекомендуемая дозировка	0,3-1,6 % жидкой добавки от массы цемента

Таблица 6– Характеристики ремонтных модифицированных составов из мелкозернистых бетонов

№	Класс ремонтного состава	ПОДВИЖНОСТЬ	Расход материалов, кг/м <sup>3</sup>				
			Вода	ТМВ-75	Барханный песок	Отсев дробления	Sika Viscocrete 5 New
1	B50	23 см	220	550	542	1008	4,9
2	B50	17 см	165	550	549	1021	4,9
3	B30	10 с	120	300	556	1034	2,7
4	B30	30 с	90	300	567	1053	2,7
5	B50	24 см	220	550	390	1170	4,9
6	B50	18 см	165	550	393	1182	4,9
7	B30	5 с	120	300	396	1188	2,7
8	B30	15 с	120	300	560	1040	2,7
9	B35	16 см	170	425	474	1106	3,8
10	B35	4 см	128	425	478	1117	3,8
11	B50	19 см	193	550	466	1089	4,9
12	B30	10 с	105	300	483	1127	2,7
13	B35	9 см	149	425	568	1056	3,8
14	B35	8 см	149	425	403	1210	3,8
15	B35	9 см	149	425	481	1124	3,8

### 1. Приготовление поврежденных участков бетона и арматуры к ремонту

На этом технологическом переделе поверхность, требующая ремонта осматривается, корродированные и рыхлые слои бетона должны быть полностью уничтожены до плотного бетона. Зоны всех участков вырубке вычисляются на основании предварительного обследования повреждённых конструкций. Необходимо подвергать вырубке следующие участки:

- поверхностей бетона ширина, которых составляет 10-15 см вдоль коррозионной арматуры с рыхлым и пористым защитным слоем;
- поверхностей ширина, которых составляет 10-15 см вдоль корродирующих трещин;
- поверхностей со структурным повреждением бетона на границе с довольно плотным и сохранившим прочность бетоном;

- поверхностей с повышенной коррозионной активностью арматуры.
- поверхностей бетона, находящихся на уровне с арматурой, поражённой хлоридами, если концентрация хлоридов в данной зоне превышает 0,5 % массы цемента.

Зона вырубки фиксируется мелом на бетонной конструкции и уточняется в ходе выполнения работ. Участки для вырубки необходимо опиливать прямыми линиями по отмеченной границе с помощью специальной для этих целей углошлифовальной машины или алмазной пилы. Непрочные и отслоившиеся промежутки бетона вырубается с помощью отбойного молотка и перфоратора. Качество вырубки обязательно надо контролировать, простукивая молотком.

Месторасположение арматуры в теле бетона определяют при помощи магнитного прибора, а также визуальным осмотром по выходам арматурных стержней на границе поверхности и в некоторых случаях по траектории корродирующих трещин.

Поврежденный коррозией бетон вырубается глубже арматуры приблизительно на один диаметр стержня, но не меньше 2 см. Если повреждена поверхность с двумя и более рядом прилегающими арматурными стержнями необходимо вырубать бетон до низа стержней. В случае повреждения арматуры более 30 % коррозией или в результате вырубки бетона стержни надо заменить.

В случае если на поверхности бетона присутствует оголённая арматура, то эти участки подвергают пескоструйной зачистке, чтобы тщательно отделить ржавчину и остатки корродированного бетона, к тому же желательно создать шероховатую и неровную текстуру. Ржавчину так же можно уничтожить с помощью щёток-насадок металлических на электродрель, а если неглубокая коррозия арматуры толщиной менее 60 мкм эффективно применять модификаторы ржавчины, но поверхность с загрязнениями после этой процедуры необходимо промыть струёй воды под давлением.

При восстановлении защитного слоя конструкции модифицированным бетоном, то старое основание нужно зачистить пескоструйной обработкой и смыть водой цементную пыль и другие включения.

Есть моменты, когда необходимо восстановить защитный слой большой толщины, тогда рекомендуется на старое основание специальными дюбелями из нержавеющей стали пристрелить стальную сетку. Обязательно нужно учитывать и влажность поверхности, подвергаемой ремонту, увлажнять или подсушивать ее.

## 2. Подготовка грунтосостава

Перед бетонированием обязательно покрыть грунтовкой ремонтируемую поверхность, для того чтобы обеспечить максимальную адгезию старого основания и нового бетона. Предпочтение можно отдать грунтовочному составу на основе полимерных связующих от передовых

производителей как российских, так и зарубежных. Эти составы уже готовы к применению и обладают высокими адгезионными свойствами.

### **3. Нанесение грунтовочного состава**

Грунтовочный состав наносят равномерно и без излишеств на основание с помощью компрессора и краскораспылителя. Небольшие зоны ремонта можно наносить грунтовкой с помощью кисти или валика.

### **4. Приготовление ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона**

Приготовление ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона осуществляют в растворо– или бетоносмесителях принудительного действия с объёмом по загрузке 100 – 500 л. При меньших объёмах работ бетонную смесь можно готовить при тщательном вымешивании и вручную в различного рода ёмкостях, при больших объёмах бетонную смесь готовят на бетоносмесительных узлах по выпуску товарного бетона.

В зависимости объёма и способа приготовления бетонной смеси дозирование осуществляют или мерными сосудами, или заводскими дозаторами различного типа.

Процесс перемешивания компонентов смеси довольно ответственный и перемешивание происходит в следующем порядке: сначала загружают обогащенный фракционированный заполнитель, полученный смешиванием в заданных пропорциях (60:40 %) отсева дробления и барханного песка, следом загружают виброактивированное тонкомолотое вяжущее и двухводный гипс, или полиакрилатную дисперсию АКРЭМОС 101, эта смесь перемешивается 1 минуту без воды. Затем подается отдозированная строго по расчету вода с растворенным в ней суперпластификатором Sika Viskocrete 5 New, Хидетал ГП-9 или ГКЖ-11. Процесс перемешивания бетонной смеси займет 4 –6 минут, пока смесь не станет однородной и связной.

### **5. Способ нанесения предлагаемого ремонтного состава на ремонтируемый участок**

Способ нанесения бетонной смеси выбирают в зависимости от характера повреждения конструкции.

5.1 Укладка ремонтного состава из мелкозернистой бетонной смеси, этот способ применяют если повреждены горизонтальные участки конструкции с небольшим углом наклона. Если площадь повреждения высокая по смесь укладывают, уплотняют и производят отделку поверхности с помощью бетоноукладчика на гусеничном или рельсовом ходу, если площадь повреждения небольшая бетонная смесь укладывается вручную, а уплотняют ее с помощью виброреек или различных конструкций вибраторов. Отделку поверхности осуществляют с помощью затирочных машин.

5.2 Оштукатуривание поврежденной поверхности ремонтным составом применяют если необходим ремонт незначительных вертикальных зон и



нижних горизонтальных зон конструкций при глубине наносимой смеси не более 5 см. Оштукатуривание на таких небольших участках осуществляют вручную с помощью мастерка и полутёрка. Отделку поверхности производят затирочной машиной. В случае, когда участки повреждены более глубоко и толщина зоны более 10 см, то мелкозернистую смесь наносим в несколько подходов, при этом нужно делать интервалы для схватывания каждого предыдущего слоя смеси.

5.3 Заливка бетонной смеси в опалубку, осуществляется в тех случаях, когда повреждены более 5 см глубокие вертикальные и нижние горизонтальные зоны конструкций. Необходимо установить опалубку, с таким расчетом, чтобы расстояние между поврежденным основанием и опалубкой соответствовало заданной толщине слоя новой бетонной смеси. Ремонтный состав из мелкозернистой смеси в опалубку подают если большие объемы повреждены с помощью бетононасоса, но если объем невелик, то можно вручную ведрами. Уплотняют смесь с помощью глубинного вибратора, опускаемого в уложенную смесь сверху, или с помощью закрепленных к опалубке снаружи навесных вибраторов. Отделка поверхности определяется качеством опалубки.

5.4. Торкретирование ремонтного состава из мелкозернистой бетонной смеси рекомендуется если повреждены значительные участки вертикальных и нижних горизонтальных поверхностей конструкций при глубине наносимого слоя меньше 5 см. В данном случае смесь наносим под давлением с помощью штукатурной машины, уплотнения нанесенной смеси не нужно. Отделка поверхности производится затирочными машинами.

## **6. Уход за свежееуложенной ремонтной мелкозернистой смесью**

Поверхность бетона только что уложенного необходимо защищать от воздействия различных факторов: атмосферных осадков, продувания ветром и прямого попадания солнечных лучей. Поэтому свежую поверхность бетона желательно накрыть полиэтиленовой плёнкой. При гарантированной хорошей погоде свежееуложенный бетон можно обработать из краскораспылителя и закрепляющей полимерной эмульсией. Ухаживать необходимо до набора бетоном не меньше 50% прочности по заданной марке. При температуре ниже 5<sup>0</sup>С вокруг ремонтируемой поверхности необходимо устроить тепловое укрытие с помощью теплопушек, чтобы температура воздуха была в этой зоне не меньше 5 °С до набора бетоном 70 % прочности заданной по проекту.

## **7. Контроль качества бетона и исходных материалов**

7.1. Строительная лаборатория обязана вести систематический контроль и анализ качества поступающих на стройку материалов, а также контроль технологических процессов.

7.2. Контроль качества песка производят из проб отобранных при погрузке и разгрузке в соответствии с указаниями ГОСТ 8736-93. Контроль качества цементов производят в соответствии с ГОСТ 310.2-76.ГОСТ 310.3-

76, ГОСТ 310.4-81 Ускоренное определение прочности цемента осуществлять по ГОСТ 10178-85.

7.3. Осуществляется регулярный контроль состава и качества приготовляемой ремонтной смеси.

7.4. Подвижность ремонтной смеси проверяется не реже 2 -3 раз в смену у мест ее приготовления и укладки.

7.5. Строительные лаборатории обязаны вести журнал бетонных работ

7.6. Контроль прочности ремонтного бетона следует производить по ГОСТ 10180-90.

## Приложение 4

Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение науки  
Комплексный научно-исследовательский институт  
им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук

УДК 666.972.16



УТВЕРЖДАЮ  
Директор КНИИ РАН,  
д.т.н., проф.  
Д.К.-С. Батаев  
«10» апреля 2018 г.

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ**  
на производство тонкомолотого вяжущего  
для получения ремонтных модифицированных составов на основе  
барханного песка

Введены с 12 апреля 2018 г.

## СОГЛАСОВАН:

Генеральный директор  
КП ЧР «Дирекция по строительно-  
восстановительным работам в ЧР»  
Р.Р. Юшаев  
«10» апреля 2018 г.



## РАЗРАБОТАН:

Профессор, д.т.н.,  
Д.К.-С. Батаев  
Аспирант КНИИ РАН  
А.А. Узаева

Грозный-2018

Настоящий технологический регламент разработан на производство виброактивированного тонкомолотого вяжущего с использованием портландцемента, барханных песков и суперпластификатора С-3.

Виброактивированное тонкомолотое вяжущее предназначено для проведения ремонтно-восстановительных работ при монолитном и сборно-монолитном строительстве.

## 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОИЗВОДИМОЙ ПРОДУКЦИИ

Виброактивированное тонкомолотое вяжущее – это продукт полученный в результате совместного измельчения в шаровой вибрационной мельнице в течение 10 минут следующих компонентов: портландцемента (74 %), барханных песков тонкой гранулометрии (25 %) и С-3 (1 %), которое будет отличаться от традиционных типов вяжущих пониженной водопотребностью и более высокой активностью.

Тонкомолотое вяжущее (ТМВ) с использованием барханного песка тонкой гранулометрии, в зависимости от содержания портландцемента и минеральной добавки, могут быть различных классов прочности (марок) от ТМВ-65 до ТМВ-85, и должны соответствовать следующим техническим требованиям (таблица 1).

Таблица 1– Рецептуры тонкомолотых вяжущих

№ состава	Способ активации	Условное обозначение	Содержание компонентов тонкомолотого вяжущего, %		
			ПЦ	Барханный песок	С-3
1	Совместная виброактивация ВМ-20	ПЦ	100	-	-
2		ТМВ-85	84	15	1,0
3		ТМВ-75	74	25	1,0
4		ТМВ-65	64	35	1,0

Примечание: ТМВ – тонкомолотое вяжущее; ПЦ – портландцемент

Таблица 2 – Свойства тонкомолотых вяжущих

№ состава	Наименование вяжущего	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Нормальная плотность, %	Активность, МПа	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>
вибромеханоактивация 10 минут					
1	ПЦ	420	27,5	50,1	3,10
2	ТМВ-85	454	18,0	60,4	2,94
3	ТМВ-75	482	19,1	67,2	2,84
4	ТМВ-65	476	20,3	48,9	2,71

вибромеханоактивация 20 минут					
5	ПЦ	525	29,6	49,8	3,10
6	ТМВ-85	564	20,8	53,9	2,94
7	ТМВ-75	597	22,1	65,5	2,84
8	ТМВ-65	585	23,5	46,9	2,71

## 2. ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА

### 2.1. Сырьевые материалы и требования к ним

Виброактивированное тонкомолотое вяжущее с использованием портландцемента, барханных песков и суперпластификатора С-3, изготавливают путем смешения перечисленных компонентов в оптимальном количестве и совместного помола в смесителе сухих смесей.

Барханный песок должен соответствовать ТУ 5743 – 008 – 02066339 – 2002. Портландцемент – марки ЦЕМ I 42,5 Н соответствует требованиям ГОСТ 10178. Характеристики используемого сырья приведены (в таблице 3).

### 2.2. Процесс изготовления виброактивированного тонкомолотого вяжущего

Изготовление ТМВ включает следующие основные переделы:

- подготовка сырьевых компонентов;
- дозирование исходных компонентов;
- подача отдозированных компонентов в вибрационную шаровую мельницу;
- помол (вибромеханохимическая обработка);
- складирование и упаковка;
- отгрузка, транспортировка ТМВ и хранение.

Сырьевые материалы поступают на предприятие и хранятся в течение 10 суток.

Таблица 3– Характеристики используемого сырья

Наименование	Нормативный документ	Сорт или марка	Контролируемые параметры
Портландцемент	ГОСТ 10178–85	ЦЕМ I	Активность, МПа
Барханный песок	ТУ 5743 – 008 – 02066339 – 2002	-	Гранулометрический состав, минеральный состав, влажность
С-3	ТУ 6-36-0204229-625-90	-	Влажность, плотность

### **2.2.1. Подготовка сырьевых компонентов**

Этот технологический процесс заключается в сушке барханного песка тонкой гранулометрии в сушильном барабане до влажности 2–3 %.

### **2.2.2. Дозирование компонентов**

Дозирование компонентов (портландцемента, барханного песка и С-3) осуществляется в весовых дозаторах, обеспечивающих точность.

### **2.2.3. Подача компонентов в шаровую мельницу**

Подача компонентов в вибрационную шаровую мельницу осуществляется пневмотранспортером или при помощи шнековых транспортеров. барханный песок перемещается при помощи транспортера.

### **2.2.4. Помол (вибромеханохимическая обработка)**

Помол компонентов при производстве ТМВ осуществляется в вибрационной шаровой мельнице. Удельная поверхность ТМВ определяется по ГОСТ 310.2–76 и должна достигать по прибору ПСХ-12 400–600 м<sup>2</sup>/кг.

### **2.2.5 Смешивание компонентов вяжущего**

Ранее приготовленные компоненты в определенном количестве по массе, из приемных бункеров направляются на дозирование в весовые дозаторы, после чего транспортируются в смеситель двухвального типа и в дальнейшем подаются в бункер-накопитель. В вибрационной шаровой мельнице происходит совместный помол портландцемента, барханного песка тонкой гранулометрии и С-3.

### **2.2.6 Складирование и упаковка**

ТМВ отгружают в упаковке или без нее. При поставке без упаковки ТМВ должно храниться в силосах и других закрытых емкостях на складе готовой продукции.

Для упаковки ТМВ применяют:

- бумажные пяти- или шестислойные мешки по ГОСТ 2226, сшитые или склеенные с закрытой горловиной с клапаном марок НМ, БМ или БМП. Могут быть использованы бумажные мешки зарубежного производства, показатели, качества которых не ниже требований ГОСТ 2226;

- мягкие контейнеры с водонепроницаемым вкладышем или другая упаковка, надежно защищающая ТМВ от увлажнения и загрязнения, по соответствующим нормативным документам.

Для мелкой расфасовки применяют полиэтиленовые банки, пакеты, а также другую упаковку, обеспечивающую сохранность ТМВ по соответствующим нормативным документам.

Маркировка ТМВ должна осуществляться по ГОСТ 30515–97.

### 2.2.7 Отгрузка и транспортирование

ТМВ транспортируется всеми видами транспорта с соблюдением Правил перевозок грузов, установленных для транспорта данного вида.

ТМВ без упаковки транспортируют в специализированных вагонах-цементовозах, автоцементовозах и судах.

ТМВ в упаковке транспортируют в универсальных транспортных средствах (крытых вагонах, автомобилях и судах) транспортными пакетами, в контейнерах или поштучно (мешками).

ТМВ в мелкой расфасовке транспортируют в крытых вагонах или автомобильным транспортом в специальных емкостях.

### 2.2.8 Хранение

ТМВ должно храниться отдельно по классам прочности (марке): в неупакованном виде – в силосах или других закрытых емкостях, а ТМВ в упаковке – в сухих помещениях.

Смешивание ТМВ различных классов прочности (марок), а так же загрязнение его посторонними примесями и увлажнение не допускаются.

Не допускается хранить ТМВ без упаковки в складах амбарного типа.

## 3. НОРМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА

Таблица 4 – Норма технологического режима производства ТМВ с использованием барханного песка в качестве составляющего вяжущего

Наименование операции	Характеристика оборудования материалов и процессов	Основные технологические показатели
Сушка минерального компонента	Сушильный барабан	Влажность 2–3 %
Дозирование компонентов:		
а) портландцемент	Бункер, дозатор весовой	Кол-во по массе
б) барханный песок	Бункер, дозатор весовой	Кол-во по массе
Помол отдозированных компонентов	шаровая мельница сухого помола	Удельная поверхность по ПСХ – 400 – 600 м <sup>2</sup> /кг

Таблица 5– Нормы расхода сырья и материалов

Наименование сырья и материалов	Ед. измерения	Нормы расхода сырья и материалов
Портландцемент	% по массе сухих материалов	65–80
барханный песок	% по массе сухих материалов	35–20

## 4. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПРАВИЛА ПРИЕМКИ

**4.1.** Лаборатория предприятия обязана осуществлять систематический контроль качества сырья и материалов, следить за соблюдением норм технологического процесса и режима работы технологического оборудования. Систематически проверять работу измерительных приборов и аппаратуры. При этом необходимо руководствоваться ГОСТ 310.1–76 – ГОСТ 310.3–76, ГОСТ 310.4–81 "Цемент. Правила контроля", ГОСТ 125-79, ГОСТ 26871-86.

**4.2.** При контроле производственных процессов лаборатория проверяет:

- а) зерновой и минералогический состав минеральных добавок;
- б) влажность минеральных добавок;
- в) активность минеральных добавок согласно ТУ 21-31-62-89;
- в) активность портландцемента;
- г) состав смеси, подаваемой в шаровую мельницу;
- д) дисперсность ТМВ;
- е) активность ТМВ.

При изменении характеристик сырья и материалов лаборатория должна внести необходимые коррективы в технологию изготовления продукции.

**4.3.** При приемке готовых партий тонкомолотых вяжущих проверке ОТК подлежат:

- а) состав тонкомолотых вяжущих определяется по ГОСТ 8735–88;
- б) активность ТМВ определяется по ТУ 21-31-62-89;
- в) дисперсность ТМВ определяется по п. 2.2.4.

## 5. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ, ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ И ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ САНИТАРИЯ

Рабочие, поступившие на предприятие, проходят вводный инструктаж по технике безопасности и инструктаж на рабочем месте. Если рабочих переводят с одного места на другое, то на новом рабочем месте обязательно проводится повторный инструктаж.

### 5.1. Меры безопасности при эксплуатации машин и агрегатов

Техника безопасности в технологии производства композиционных вяжущих предусматривает необходимость аэрации помольных установок в местах загрузки портландцемента и реакционно-активных добавок и выгрузки готовой продукции. Рабочие склада портландцемента, реакционно-активных добавок и помольного отделения должны быть обеспечены средствами защиты от производственной пыли – респираторами.

Лестницы к бункерам должны быть выполнены из металла. Оставлять люки бункеров не закрытыми на замок запрещается. Вверху бункера должны иметь открывающиеся окна для вентиляции. При наличии в бункере материала слоем более 1 м вход в него запрещен, а при наличии слоя до 1 м



вход разрешен только под наблюдением начальника смены. Обрушать материал только сверху.

Для подъема крышек лазов, монтажа и демонтажа броневых плит и загрузки шарами необходимо установить над мельницами подъемные приспособления. Мельницы ограждаются по длине корпуса с обеих сторон решетками высотой в 1 м.

### 5.2. Производственная санитария

Для предприятия по производству композиционных вяжущих защитная зона устанавливается в радиусе 50 м. Территория предприятия, свободная от застройки и хозяйственных площадок, должна быть озеленена. Проезды и пешеходные дорожки должны иметь твердые покрытия.

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

**6.1. Перечень технической документации для выпуска готовой продукции композиционных вяжущих с применением реакционно-активных компонентов (таблица 6).**

Таблица 6–Перечень технической документации

Наименование нормативной и технической документации	Индекс документа	Автор разработки	Кем утвержден
Цементы. Методы определения прочности при изгибе и сжатии	ГОСТ 310.4	Министерство промышленности и строительных материалов СССР Государственный комитет СССР по делам строительства Министерство энергетики и электрификации СССР	Государственный комитет СССР по делам строительства
Лента стальная упаковочная. Технические условия	ГОСТ 3560-73	-	Госстандарт СССР
Красители органические. Технические условия	ГОСТ 6220-76*	Министерство химической промышленности и СССР	Государственный комитет стандартов Совета министров СССР

Песок для строительных работ. Технические условия	ГОСТ 8736-97*	Институт ВНИИПИИ- стромсырье	Минстрой России
Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия	ГОСТ 10178-85*	Министерство промышленност и строительных материалов СССР.	Госкомитет СССР по делам строительс тва
Бетоны. Правила контроля прочности	ГОСТ 18105-86*	НИИЖБ Госстроя СССР	Госстрой СССР
Вода для бетонов и растворов. Технические условия	ГОСТ 23732-79	-	Госстрой СССР
Мешки бумажные. Технические условия.	ГОСТ 2226-88		Госстрой СССР
Добавки для бетона	ГОСТ 24211-2003		Госстрой СССР
Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия	ГОСТ 26633-91	НИИЖБ Госстроя СССР	Комитет СССР по делам строительс тва

## 6.2. Производственные инструкции

Перечень инструкций.

1. Инструкция по технике безопасности при работе с мельницей.
2. Инструкция по технике безопасности при работе в бункерах сыпучих материалов.
3. Инструкция по технике безопасности для электромонтера.
4. Инструкция по технике безопасности для слесаря.

Утверждение инструкций производится главным инженером предприятия и должны пересматриваться не реже 1 раза в год.

## 6.3. Нормативные документы

Перечень нормативных документов.

1. Единые правила техники безопасности и производственной санитарии для предприятий промышленности строительных материалов.
2. Правила технической эксплуатации электроустановок.
3. Положение о расследовании и учете несчастных случаев на производстве.

## 7. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные акты и документы:

- ГОСТ 310.1-76 Цементы. Методы испытаний. Основные положения  
ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола

ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема

ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний

ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия

ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия

ГОСТ 23732-79 Вода для бетонов и растворов. Технические условия

ГОСТ 25328-82 Цементы для строительных растворов. Технические условия

ГОСТ 25094-94 Добавки активные минеральные для цементов. Метод испытаний

## Приложение 5

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение науки  
Комплексный научно-исследовательский институт  
им. Х.И. Ибрагимова Российской академии наук**

Утвержден и введен в действие Приказом от «14» мая 2018 г. № 43



УТВЕРЖДАЮ  
Директор КНИИ РАН,  
д.т.н., проф.  
Д.К.-С. Батаев  
«10» апреля 2018 г.

**СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ**

**ТОНКОМОЛОТОЕ ВЯЖУЩЕЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНО -  
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ  
СТО 02066340-017-2018**

Введены с 12 апреля 2018 г.

**СОГЛАСОВАН:**

Генеральный директор  
КП ЧР «Дирекция по строительно-  
восстановительным работам в ЧР»  
М.И. Р.Р. Юшаев  
«10» апреля 2018 г.



**РАЗРАБОТАН:**

М.И. Р.Р. Юшаев Профессор, д.т.н.,  
Д.К.-С. Батаев  
А.А. Узаева Аспирант КНИИ РАН  
А.А. Узаева

Грозный-2018

## 1. ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящий стандарт устанавливает общие положения по разработке тонкомолотого вяжущего для ремонтных модифицированных составов из мелкозернистого бетона и устанавливает требования к тонкомолотым вяжущим и компонентам их вещественного состава.

## 2. НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие нормативные акты и документы:

ГОСТ 310.1-76 Цементы. Методы испытаний. Основные положения

ГОСТ 310.2-76 Цементы. Методы определения тонкости помола

ГОСТ 310.3-76 Цементы. Методы определения нормальной густоты, сроков схватывания и равномерности изменения объема

ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии

ГОСТ 8735-88 Песок для строительных работ. Методы испытаний

ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. Технические условия

ГОСТ 9179-77 Известь строительная. Технические условия

ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия

ГОСТ 23732-79 Вода для бетонов и растворов. Технические условия

ГОСТ 25328-82 Цементы для строительных растворов. Технические условия

ГОСТ 25094-94 Добавки активные минеральные для цементов. Метод испытаний

### 3. ТРЕБОВАНИЯ К МАТЕРИАЛАМ

#### 3.1 Минеральное вяжущее

Портландцемент ПЦ 500-ДО с Чири-Юртовского цементного завода. Химический состав этих цемента представлен в таблице 1. Основные характеристики и минералогический состав представлен в таблице 2 и 3

Таблица 1– Химический состав цемента, %

Наименование	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	ппп	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Чири-Юртовский цемент	20,09	5,3	4,06	2,03	63,14	2,44	0,066	2,2	0,22	0,38

Таблица 2 – Минералогический состав цемента

Наименование	Минералогический состав, %			
	C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF
Чири-Юртовский цемент	59	16	8	13

Таблица 3– Основные характеристики используемых цемента

№№ пп	Завод-изготовитель и марка	Удельная поверхность, см <sup>2</sup> / г	НГ, %	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Сроки схватывания, час. - мин.		Активность, МПа, 28сут	
					начало	конец	сжатии	изгибе
1	Чири-Юртовский ПЦ 500 ДО	3300	25	3100	2 - 15	3 - 40	52,6	6,2

#### 3.2 Минеральная добавка из барханного песка

В качестве минерального компонента согласно настоящему стандарту рекомендуется использовать песок барханный тонкой гранулометрии месторождения Шелковское. Химический состав вулканического пепла представлен в таблице 4

Таблица 4 – Химический состав барханного песка

MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	ппп
2,41	7,81	59,54	1,44	17,52	2,6	1,35	0,21	7,12

#### 4. ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОРУДОВАНИЯ

4.1 В качестве помольных агрегатов в промышленных масштабах используют шаровые или вибромельницы, технические характеристики, которых представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики помольного оборудования

Параметры	Мельницы шаровые		Вибромельницы	
	Двухкамерная 1456А	Однокамерная СМ-600 3А	СВМ-75	СВМ-160
Производительность, т/ч	8	0,5-3	1,5	3,0
Барaban: раб. объем, м <sup>3</sup>	8	2,2	0,55	0,8
вн. диаметр, мм	1512	1500	-	-
длина, мм	5605	1760	-	-
Мощность, кВт	132	55	75	1600
Габариты, м	12,0x2,6x2,3	4,9x3,3x2,5	3,0x0,9x1,7	4,0x2,1x2,8
Масса, т	39,5	16,3	1,2	8,0

4.2 В качестве помольных агрегатов в лабораторных условиях используют вибрационную шаровую мельницу типа ВМ-20, с объемом загрузки 20 кг.

#### 5. РАЗРАБОТКА ТОНКОМОЛОТОГО ВЯЖУЩЕГО

5.1 Используемое сырье в качестве минерального наполнителя необходимо высушить до постоянной массы в сушильных агрегатах, предназначенных для сушки сыпучих материалов (сушильный барабан, сушильная печь).

5.2 Измельчить сырье путем совместного помола в помольных агрегатах до удельной поверхности 600 м<sup>2</sup>/ кг, в определенных соотношениях, приведенных в таблице 6.

Таблица 6 – Рецептуры тонкомолотых вяжущих

№ состава	Способ активации	Условное обозначение	Содержание компонентов тонкомолотого вяжущего, %		
			ПЦ	Барханный песок	С-3
1	Совместная виброактивация ВМ-20	ПЦ	100	-	-
2		ТМВ-85	84	15	1,0
3		ТМВ-75	74	25	1,0
4		ТМВ-65	64	35	1,0

## 6. ТЕХНИЧЕСКИЕ ТРЕБОВАНИЯ

6.1 Тонкомолотые вяжущие должны соответствовать требованиям, приведенным в таблице 7.

Таблица 7

№ состава	Наименование вяжущего	Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	Нормальная густота, %	Активность, МПа	Истинная плотность, г/см <sup>3</sup>
вибромеханоактивация 10 минут					
1	ПЦ	420	27,5	50,1	3,10
2	ТМВ-85	454	18,0	60,4	2,94
3	ТМВ-75	482	19,1	67,2	2,84
4	ТМВ-65	476	20,3	48,9	2,71
вибромеханоактивация 20 минут					
5	ПЦ	525	29,6	49,8	3,10
6	ТМВ-85	564	20,8	53,9	2,94
7	ТМВ-75	597	22,1	65,5	2,84
8	ТМВ-65	585	23,5	46,9	2,71

## 7. МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ

7.1 Физико-механические показатели тонкомолотого вяжущего определяют по ГОСТ 30744.

7.2 Химические показатели тонкомолотых вяжущих определяют по ГОСТ 5382.

## 8. ТРАНСПОРТИРОВАНИЕ И ХРАНЕНИЕ

Транспортирование и хранение тонкомолотых вяжущих осуществляют по ГОСТ 30515.



## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Область применения .....	2
2 Нормативные ссылки .....	2
3 Требования к материалам .....	3
4 Характеристики оборудования .....	4
5 Разработка тонкомолотых вяжущих .....	5
6 Технические требования .....	6
7 Методы испытаний .....	6
8 Транспортирование и хранение .....	6