

На правах рукописи



Животкова Ирина Александровна

**СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ И МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ
БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 2.1.5 Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Махачкала – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Дагестанский государственный технический университет» на кафедре «Технология и организация строительного производства».

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор,
Хаджишалапов
Гаджимагомед Нурмагомедович

Официальные оппоненты

Саламанова Мадина Шахидовна
доктор технических наук, доцент,
директор НТЦКП «Современные
строительные материалы и
технологии» Федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения
высшего образования «Грозненский
государственный нефтяной
технический университет имени
академика М.Д. Миллионщикова»

Удодов Сергей Алексеевич
кандидат технических наук, доцент,
директор по научно-техническому
сопровождению ООО «Центр
развития строительных технологий»
ФГБОУ ВО «Белгородский
государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова»

Ведущая организация

Защита состоится «12» декабря 2025 года в 14-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.295.01, созданного на базе ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» по адресу: 367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, ауд. 202

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» и на сайте <https://dstu.ru/>

Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования РФ <https://vak.gisnauka.ru/>.

Дата рассылки автореферата « ____ » _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент



Х.Р. Зайнулабидова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Потребление сухих строительных смесей в 2023 г. в РФ на фоне ввода в эксплуатацию 175,0 млн. м² жилья выросло до 15,6 млн т. Номенклатура производимых сухих строительных смесей (ССС) представлена значительным рядом разнообразных по области применения и свойствам строительных растворов: кладочные, штукатурные, шпатлевочные, клеевые, затирочные, напольные, ремонтные, изоляционные, специальные, для фасадных теплоизоляционных композиционных систем. Порядка 70% объема производимых СССР изготавливаются на портландцементной основе. Использование в составе СССР во все возрастающих объемах различных минеральных добавок и наполнителей техногенного происхождения обеспечивает решение важной экологической задачи по утилизации отходов в различных отраслях промышленности. В зависимости от назначения строительные растворы подвергаются воздействиям силовым, температурным, влажностным, агрессивной среды, в связи с чем для обеспечения стойкости к эксплуатационным воздействиям должны удовлетворять установленным нормативными документами показателям качества. При разработке рецептур СССР различного функционального назначения особое внимание уделяется эффективному использованию органоминеральных модификаторов «химические + минеральные добавки», обеспечивающих требуемый уровень технологических свойств смесей и строительно-технических свойств полученных из СССР растворов, эффективность эксплуатации которых определяется, в зависимости от назначения, показателями предела прочности при сжатии, растяжении (изгибе), морозостойкости, прочности сцепления с различными основаниями, величиной деформаций усадки, морозостойкости контактной зоны и др. Это предопределяет актуальность исследований с целью получения и уточнения зависимостей влияния вида и дозировок минеральных и химических добавок на свойства строительных растворов от указанных факторов с целью разработки эффективных рецептур СССР различного функционального назначения.

Степень разработанности темы исследований. Нормативными документами в зависимости от назначения ССС установлены требования по пределам прочности, морозостойкости, деформациям усадки и др. При этом для ремонтных ССС требования по показателю предела прочности на осевое растяжение или растяжение при изгибе не установлены. Нормирование морозостойкости представлено по изменению предела прочности при сжатии, данные о стойкости по другим критериям практически отсутствуют. Недостаточно информации о взаимосвязи основных свойств растворов, особенно при использовании минеральных добавок техногенного происхождения, что предопределяет актуальность исследований влияния органоминеральных модификаторов «химические + минеральные добавки» на основные строительно-технические свойства полученных из ССС растворов различного назначения.

Рабочая гипотеза. Выявленные закономерности влияния органоминеральных модификаторов на основе природного либо техногенного сырья, водоудерживающей добавки и редиспергируемых полимерных порошков на изменение в зависимости от времени и условий эксплуатации основных строительно-технических свойств строительных растворов и мелкозернистых бетонов обеспечат разработку рациональных составов ССС различного функционального назначения.

Цель работы и задачи исследований. Целью диссертационной работы является выявление общих закономерностей и получение количественных зависимостей влияния вида и дозировок минеральных и химических добавок на пределы прочности при сжатии, изгибе, модуль упругости, прочность сцепления с основанием, морозостойкость по различным критериям и морозостойкость контактной зоны полученных из ССС строительных растворов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить **следующие задачи:**

1. Выявить закономерности влияния состава и дозировок комплексных минеральных добавок и органоминеральных модификаторов «химические + минеральные добавки» на свойства полученных из ССС мелкозернистых бетонов и строительных растворов;

2. Сравнить степень эффективности золы уноса, опоки, горелой породой в составе комплексной минеральной добавки, содержащей шлам химводоочистки, и в составе органоминерального модификатора с водоудерживающей добавкой и редиспергируемым полимерным порошком;

3. Установить закономерности влияния рецептурных факторов при различных условиях выдерживания на пределы прочности при сжатии, изгибе, начальный модуль упругости, деформации усадки, прочность сцепления с основанием и взаимосвязь указанных свойств мелкозернистых бетонов и строительных растворов;

4. Выявить закономерности влияния рецептурных факторов на морозостойкость контактной зоны и морозостойкость полученных из ССС строительных растворов с органоминеральными модификаторами;

5. Сравнить результаты испытаний после 100 циклов замораживания и оттаивания по критериям изменения пределов прочности при сжатии, изгибе, начального модуля упругости, скорости ультразвука, прочности сцепления с основанием.

Объектом исследования являются свойства портландцементных мелкозернистых бетонов и строительных растворов, содержащих комплексную минеральную добавку природного и (или) техногенного происхождения, в т.ч. в комплексе с водоудерживающей добавкой «Mecellose 23701» и редиспергируемым полимерным порошком Vinavil E06PA.

Предметом исследования являются закономерности изменения в зависимости от рецептурных факторов основных строительно-технических свойств портландцементных мелкозернистых бетонов и строительных растворов, содержащих комплексную минеральную добавку природного и (или) техногенного происхождения, в т.ч. в комплексе с водоудерживающей добавкой «Mecellose 23701» и редиспергируемым полимерным порошком Vinavil E06PA.

Научная новизна работы:

1. Развита научные представления о влиянии на структуру и свойства полученных из ССС строительных растворов и мелкозернистых бетонов состава и

дозировок комплексных минеральных добавок шлам химводоочистки + зола-уноса (опока, горелая порода) и органоминеральных модификаторов «химические + минеральные добавки» и получены зависимости от рецептурных факторов пределов прочности при сжатии и изгибе, модуля упругости, деформаций усадки, прочности сцепления с основанием, морозостойкости и морозостойкости контактной зоны, установлено влияние химических добавок на дополнительную за счет воздухововлечения пористость, прочностные и деформационные свойства, морозостойкость;

2. Определена рациональная дозировка комплексной минеральной добавки (КМД) 20% при соотношении шлам/минеральная добавка (МД) = 1:1, установлено, что по предложенному условному критерию трещиностойкости $\varepsilon_{sh}E/R_f$ и по интенсивности развития деформаций усадки лучший результат обеспечивает опока, по прочности сцепления с основанием лучший результат обеспечивает зола уноса со значениями от 0,2 до 0,25 от предела прочности при изгибе, значения у опоки от 0,08 до 0,22. Установлено, что после 100 циклов замораживания и оттаивания составы с органоминеральным модификатором с комплексной МД с опокой или золой имели прочность сцепления более 1 МПа;

3. Получены для различных условий твердения зависимости $R = f(\%РПП, \%МД)$; $(R_f, E) = f(R)$; $A_{сц} = f(R_f)$ с учетом видов и дозировок органоминеральных модификаторов, выявлено повышение прочности при сжатии до 20%, при изгибе до 22%, установлено, что соотношение $R_2/R_{28} = 0,36...0,67$ в зависимости от состава мелкозернистого бетона (МЗБ), вида МД и соотношения шлам/МД, при этом комплексная МД не повышает модуль упругости, получены зависимости кинетики усадки при высыхании и выявлено влияние органоминеральных модификаторов на кинетику и величину деформаций, получены значения $\varepsilon_{sh,14}/\varepsilon_{sh,120} = 0,4...0,69$;

4. Предложен критерий морозостойкости «изменение предела прочности при изгибе» более «жесткий» относительно критериев по ГОСТ 10060-2012, обоснованы значение критерия морозостойкости $R_{f,F}/R_{f,0}$, установлено, что составы с золой-уноса характеризуются лучшими показателями $R_{f,F}/R_{f,0}$ в сравнении с опокой, сделан вывод о нецелесообразности применения критериев «изменение

динамического модуля упругости» и «изменение деформаций остаточного расширения», показано, что дозировка РПП более 2 % с точки зрения обеспечения морозостойкости по критериям «изменение предела прочности при изгибе» и «изменение предела прочности при сжатии» нецелесообразна;

5. Установлены после 100 циклов замораживания и оттаивания растворов с органоминеральными модификаторами значения критериев $R_F/R_0 > 1,2$; по п. 5.2.4 ГОСТ 10060-2012 $X_{min}^{II}/X_{min}^I = 0,94...1,73$, прогнозируемая морозостойкость более 150 циклов; $E_F/E_0 = 0,97...1,09$, прогнозируемая морозостойкость 140...325 циклов; $R_{f,F}/R_{f,0} = 0,76...0,93$, прогнозируемая морозостойкость от 19 до 140 циклов; $A_F/A_0 = 0,25...1,83$, прогнозируемая морозостойкость от 25 до 150 циклов.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в:

- развитии научных представлений о влиянии рецептуры органоминеральных модификаторов на основные строительно-технические свойства полученных из ССС строительных растворов и мелкозернистых бетонов;
- уточнении влияния состава и дозировки комплексной минеральной добавки на зависимость строительно-технических свойств от рецептурных факторов полученных из ССС МЗБ и растворов;
- выявленных закономерностях влияния химических добавок на основные строительно-технические свойства полученных из ССС строительных растворов;
- полученных новых данных о соотношении определенных по различным критериям значений морозостойкости строительных растворов;
- развитии научных представлений о взаимосвязи основных свойств строительных растворов с органоминеральными модификаторами.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

- предложены уравнения, описывающие зависимость предела прочности при изгибе и модуля упругости от предела прочности при сжатии, прочности сцепления с бетонным основанием от предела прочности при изгибе МЗБ и строительных растворов с органоминеральными модификаторами после выдерживания в различных условиях;

- определены рациональные дозировки компонентов МД и химических добавок для обеспечения требуемых показателей качества МЗБ и строительных растворов;
- определены значения морозостойкости строительных растворов с органоминеральными модификаторами по различным критериям;
- получены значения деформаций усадки и зависимости усадки от степени высыхания строительных растворов с органоминеральными модификаторами;
- предложены рекомендации по проектированию рецептур штукатурных и клеевых составов ССС.

Методология и методы исследования. Методология работы основывается на анализе и обобщении требований нормативных документов, трудов отечественных и зарубежных исследователей по тематике, связанной с оценкой влияния рецептурных и технологических факторов на строительно-технические свойства, полученных из ССС, содержащих комплексную минеральную добавку МЗБ и содержащих органоминеральный модификатор строительных растворов.

При выполнении экспериментальных исследований в лаборатории применялось современное высокотехнологичное оборудование, методы исследований и испытаний, регламентированные нормативными документами в сочетании с исследовательскими методиками, методы математического планирования эксперимента.

Основные положения, выносимые на защиту:

- установленные закономерности и полученные зависимости изменения предела прочности при сжатии, изгибе, модуля упругости, прочности сцепления с бетонным основанием МЗБ и строительных растворов с органоминеральными модификаторами после выдерживания в различных условиях;
- установленные закономерности и полученные зависимости влияния рецептуры и дозировок минеральных добавок и органоминеральных модификаторов на строительно-технические свойства МЗБ и растворов;

- установленные закономерности влияния органоминеральных модификаторов на пористость, предел прочности при сжатии, изгибе, модуль упругости, прочность сцепления с основанием строительных растворов;

- впервые полученные результаты оценки морозостойкости строительных растворов по различным критериям;

- установленные закономерности влияния рецептурных факторов на кинетику высыхания и развитие деформаций усадки.

Степень достоверности полученных результатов обеспечена комплексом проведенных исследований с использованием сертифицированного и метрологически поверенного современного лабораторного оборудования, стандартных средств измерений и методов научных исследований, непротиворечивостью полученных результатов и выводов общепризнанным положениям строительного материаловедения и результатам исследований других авторских коллективов.

Апробация результатов работы. Результаты исследований были представлены на конференциях: II международной научно-практической конференции «Эволюция научных исследований: открытия и перспективы», Москва, 12 февраля 2024г; 45 итоговой научно-технической конференции преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ и научных мероприятий «Неделя науки , Махачкала, 2024»15-20 апреля 2024г; II Международной научно-практической конференции «Наука, технологии и общество: взаимодействие и перспективы», Москва, 18 июля 2024; II Международной научно-практической конференции «Глобальные научные тенденции: интеграция и инновации», Саратов, 10 августа 2024 г; IV Международной научно-практической конференции «Инновации в науке: вызовы и перспективы будущего», Саратов, 10 сентября 2024 г; III Международной научно-практической конференции «Границы знаний: междисциплинарный подход в науке», Саратов, 12 марта 2025 г.

Внедрение результатов исследований. Результаты исследований прошли полупромышленную апробацию на технологической линии ООО "Технология и

Материалы" в период с марта по апрель 2025 г. Разработанные составы приняты в качестве базовых для отработки производственных рецептов в условиях ООО "Технология и Материалы" с целью организации производства напольных, штукатурных, клеевых и ремонтных сухих строительных смесей.

В мае 2025 г. на технологической линии ООО «ЮгСтройСмесь» выпущено опытные партии кладочных, штукатурных и напольных сухих строительных смесей по рецептурам разработанным рецептурам с модифицирующими добавками на основе природного и техногенного сырья. Апробированные в производственных условиях составы проходят лабораторные испытания в ООО «Ростовская Строительная Лаборатория» для подтверждения соответствия их качества требованиям действующих нормативных документов.

Публикации. Основные положения работы изложены в 13 публикациях, в том числе: 6 статей в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ; 7 статей в изданиях, индексируемых в базе РИНЦ, в т.ч. 5 статей без соавторов.

Личный вклад автора состоит в обосновании рабочей гипотезы, постановке цели и задач исследования, в теоретическом анализе данных по проблеме исследования, в планировании и реализации экспериментов по исследованию влияния рецептурных факторов на свойства полученных из ССС содержащих комплексную минеральную добавку МЗБ и содержащих органоминеральный модификатор строительных растворов, обработке и анализе результатов исследований, формулировке научной новизны, выводов и заключения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 169 наименований и приложений. Изложена на 195 страницах текста формата А4, шрифт Times new roman 14, 1,5 интервала, содержит 95 рисунков и 39 таблиц.

Область исследования соответствует требованиям паспорта научной специальности 2.1.5 Строительные материалы и изделия:

п. 9 «*Разработка составов и совершенствование технологий изготовления эффективных строительных материалов и изделий с использованием местного*

сырья и отходов промышленности, в том числе повторного использования материалов от разборки зданий и сооружений».

п. 11 *«Разработка методов прогнозирования и оценки долговечности строительных материалов и изделий в заданных условиях эксплуатации».*

п. 15 *«Развитие теоретических основ и технологии получения вяжущих композиций и сухих строительных смесей различного назначения».*

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность диссертационного исследования, определены цели и задачи, сформулированы рабочая новизна, теоретическая и практическая значимость, изложены методология и методы исследований, приведены сведения об апробации, внедрении, структуре и объеме работы.

В первой главе показано, что востребованность и перспективность отрасли производства ССС с широкой номенклатурой продукции различного функционального назначения, возможность применения при производстве ССС в качестве минеральных добавок и наполнителей многотоннажных техногенных отходов предопределяет актуальность исследований в области совершенствования рецептур ССС на основе выявления закономерностей влияния состава и дозировок органо-минеральных модификаторов «химические + минеральные добавки» на эксплуатационные свойства полученных из ССС строительных растворов и мелкозернистых бетонов.

Органо-минеральные модификаторы на основе минеральной добавки, содержащей шлам химводоочистки в сочетании с золой уноса либо опокой, либо горелой породой в сочетании с водоудерживающей добавкой и редиспергируемым полимерным порошком при установленном в результате исследований рациональном сочетании компонентов обеспечат возможность регулирования в широком диапазоне технологических свойств смесей и строительно-технических свойств полученных из ССС растворов и бетонов различного функционального назначения. Выявление закономерностей влияния рецептурных факторов на изменение в зависимости от времени и условий эксплуатации пределов прочности при сжатии, изгибе, начального модуля упругости, деформаций усадки

мелкозернистых бетонов и строительных растворов с комплексными минеральными добавками или органоминеральными модификаторами представляет актуальную задачу. Выявление закономерностей влияния рецептурных факторов на морозостойкость полученных из ССС строительных растворов с органоминеральными модификаторами и оценка морозостойкости контактной зоны и коэффициента стойкости по критериям изменения пределов прочности при сжатии, изгибе, начального модуля упругости, скорости ультразвука после 100 циклов замораживания и оттаивания представляет актуальную задачу. На основании обзора и анализа опубликованных данных по рассматриваемой проблеме в работе формулируется **рабочая гипотеза** о том, что выявленные закономерности влияния органоминеральных модификаторов на основе природного и (или) техногенного сырья, водоудерживающей добавки и РПП на изменение в зависимости от времени и условий эксплуатации основных строительно-технических свойств строительных растворов и мелкозернистых бетонов обеспечат разработку рациональных составов ССС различного функционального назначения.

Во второй главе представлена информация о методах экспериментальных исследований и использованных материалах. При реализации экспериментальных исследований использован портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н по ГОСТ 31108-2016 производства ОАО «Новоросцемент», завод «Первомайский» активностью при сжатии 51,9 МПа, НС/КС 150/220 мин, НГ 27,75%. Использован РПП зарубежного производства Vinavil E06PA (сополимеры этилена-винилацетата) при дозировке 1 – 3 % от массы минеральной части ССС. В качестве водоудерживающей добавки использована «Mecellose 23701» при дозировке 0,3% от минеральной части РПП во всех составах. Выбор добавок произведен по результатам предварительных исследований и анализ опубликованных данных. Оценка свойств строительных растворов и мелкозернистых бетонов произведена с использованием методик по действующим государственным стандартам на испытания различных бетонов и растворов, в т.ч. полученных из ССС. Оценка фазового состава вяжущего до и в процессе гидратации производилась методами РФА и ДТА. При обработке

результатов экспериментальных исследований использовались методы математической статистики и ПО MS Office Excel.

В третьей главе представлены результаты исследований влияния комплексной минеральной добавки на свойства мелкозернистых бетонов и строительных растворов. Установлено, что максимальное значение пределов прочности при сжатии и изгибе обеспечивается при соотношении Ш/МД = 50%/50% (шлам/минеральная добавка) при дозировке КМД (комплексной минеральной добавки) в составе вяжущего 20%. Лучшие показатели обеспечивает использование в составе МД опоки, зола и горелая порода дают примерно равные значения. Повышение предела прочности при сжатии при равном значении В/Ц относительно бездобавочного эталона составляет от 7 до 20%, предела прочности при изгибе от 12 до 22%. Такие факторы, как состав КМД и содержание РПП незначительно влияют на соотношение пределов прочности при изгибе и сжатии, особенно в раннем возрасте:

$$R_f = a \cdot \exp(bR), \quad (1)$$

параметры уравнения (1) представлены в табл.1.

Таблица 1 – параметры уравнения (1)

Параметры уравнения	Вид МД и содержание РПП, %											
	Опока				Зола-уноса				Опока+зола-уноса			
	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
a	2,76	1,87	2,1	1,85	3,24	1,94	1,85	2,02	1,1	1,93	2,1	1,94
b	0,026	0,047	0,043	0,051	0,02	0,048	0,054	0,048	0,495	0,047	0,045	0,05
R^2	0,565	0,996	0,999	0,989	0,9	0,989	0,997	0,993	0,552	0,972	0,936	0,99

В воздушно-сухих условиях в составах растворов с РПП имеет место повышение предела прочности при изгибе. Соотношение прочности при сжатии R_2/R_{28} составляет, в зависимости от состава МЗБ, вида МД и соотношения Ш/МД от 0,36 до 0,67 при значении у эталона 0,53 – 0,55. В СР, содержащих РПП, показатель R_2/R_{28} составляет от 0,37 до 0,51 и снижается с ростом содержания РПП,

что свидетельствует о некотором замедляющем твердение эффекте в раннем возрасте при введении РПП. Предел прочности при сжатии МЗБ после выдерживания в воздушно-сухих условиях составляет от 0,71 до 0,84 относительно нормальных условий, а в СР, содержащих РПП, от 0,87 до 0,98, что свидетельствует о положительной роли КМД в обеспечении стойкости МЗБ по критерию прочности при сжатии при выдерживании в воздушно-сухих условиях.

Введение КМД в состав МЗБ не повышает начальный модуль упругости, его значения практически совпадают с нормируемыми ГОСТ Р 56378-2015 показателями, что, с учетом положительного влияния КМД рационального состава на предел прочности при изгибе благоприятно влияет на усадочную трещиностойкость МЗБ и СР. Такие факторы, как состав КМД и содержание РПП практически не влияют на зависимость модуля упругости от прочности при сжатии, особенно в раннем возрасте. Условный показатель усадочной трещиностойкости:

$$k_{crc} = \frac{E_0}{R_f}, \quad (2)$$

зависит от рецептурных факторов и возраста МЗБ (рис.1). КМД рационального состава повышает усадочную трещиностойкость.

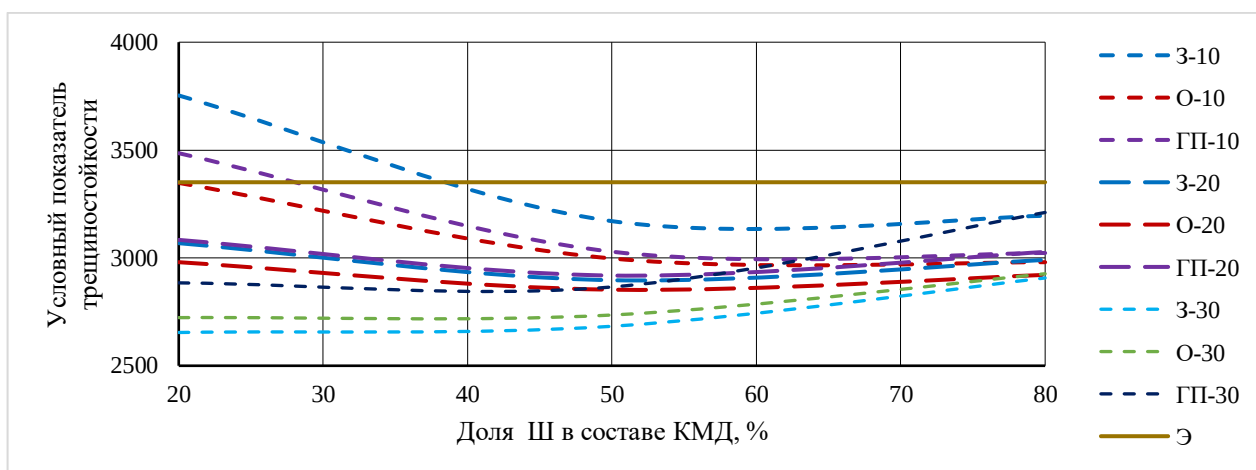


Рисунок 1 – Влияние доли III в составе КМД и продолжительности выдерживания на условный показатель трещиностойкости СР, З, О, ГП – зола, опока, горелая порода в качестве МД в составе КМД; 10-30 – дозировка КМД, %; Э – бездобавочный эталон

Введение КМД может привести к уменьшению полной пористости до 4%, при этом вид МД (зола либо опока) практически не оказывает влияния, снижение открытой капиллярной пористости составляет до 14%. Открытая капиллярная пористость в случае применения золы-уноса несколько выше в сравнении с опоккой. Наличие РПП и ВУД повышают полную пористость СР за счет воздухововлечения, при этом снижение предела прочности при сжатии составляет до 2,75% на один процент дополнительной за счет воздухововлечения пористости. Повышение дозировки РПП обеспечивает рост прочности сцепления со стандартным бетонным основанием в нормальных условиях, а в воздушно-сухих условиях возможно снижение прочности сцепления до 25% с РПП и до 35% без РПП при использовании в качестве МД опоки и, соответственно, до 13% и до 15% при использовании золы. Составы с золой обеспечивают более высокую прочность сцепления со стандартным бетонным основанием. Прочность сцепления составляет от предела прочности при изгибе в среднем 0,13 при диапазоне от 0,08 до 0,22 при использовании в качестве МД опоки и 0,22 при диапазоне от 0,2 до 0,25 при использовании золы.

В четвертой главе представлены результаты исследований деформаций усадки мелкозернистых бетонов и строительных растворов. Установлено, что в зависимости от рецептурных факторов в первые две недели протекает от 40% до 79% усадочных деформаций МЗБ. В 120 сут значения деформаций усадки составили от 0,563 мм/м до 1,15 мм/м при неизменном значении вяжущее/заполнитель и от 0,45 мм/м до 1,244 мм/м при неизменном расходе цемента. Практически все исследованные МЗБ при соотношении Ш/МД = 20/80% либо Ш/МД = 80/20% не превышают деформацию усадки эталона без КМД. В большей степени различие деформаций имеет место в составах с золой. По условному критерию трещиностойкости $\varepsilon_{sh}E/R_f$ в возрасте 28 и 120 сут предпочтение следует отдать составам, содержащим опоку при дозировке КМД 10 либо 30 % и содержании Ш в составе КМД до 30% либо более 70%.

Показано, что развитие деформаций усадки в составах с КМД при одинаковой степени высыхания происходит значительно интенсивнее в сравнении с эталонным

МЗБ без КМД, особенно при соотношении Ш/З = 80%/20% и дозировке КМД 10 и 30% и, в меньшей степени, при дозировке КМД 20% и Ш/З = 50%/50%, что связано с влиянием КМД на характер поровой структуры, определяющей кинетику обезвоживания и кинетику формирования модуля упругости МЗБ. При относительной влажности МЗБ 60% от полной относительная усадка МЗБ составила от 0,3 до 0,8. Интенсивное развитие деформаций усадки протекает в содержащих КМД составах при Ш/З = 20%/80% и 80%/20% до относительной влажности МЗБ 0,55 – 0,4, далее резко затухает. При относительной влажности МЗБ 0,4 относительная усадка составила от 0,5 у эталонного МЗБ без КМД до 0,75 – 0,95 у составов с золой.

Выявлено, что при использовании в составе МД опоки интенсивность развития деформаций усадки в составах С КМД при одинаковой степени высыхания в сравнении с содержащими в качестве МД золу-уноса составами менее выражена. Аналогично составам с золой-уноса наиболее интенсивно процесс развивается при соотношении Ш/О = 80%/20% и дозировке КМД 10 и 30%, в меньшей степени при дозировке КМД 20% и Ш/О = 50%/50%. При относительной влажности МЗБ 60% относительная усадка составила от 0,3 до 0,78. Интенсивное развитие деформаций усадки протекает при Ш/З = 20%/80% и 80%/20% до относительной влажности МЗБ 0,55 – 0,3, далее имеет место затухание. При относительной влажности МЗБ 0,4 относительная усадка составила от 0,5 у эталонного МЗБ без КМД до 0,62 – 0,93 у составов с опокой. Развитие усадочных деформаций в содержащих горелую породу составах более похоже на развитие деформаций в составах с золой-уноса, чем с опокой. При относительной влажности МЗБ 0,4 относительная усадка составила от 0,5 у эталонного МЗБ и до 0,77 – 0,98 у составов с горелой породой.

Установлено, что при введении РПП и ВУД вследствие воздухововлечения, обусловленного в основном введением ВУД, произошло увеличение значений деформаций усадки более чем в 2 раза. Основное повышение деформаций усадки обусловлено присутствием в составе ВУД, РПП влияет в значительно меньшей степени. ВУД вызывает резкий рост интенсивности развития деформаций усадки в

первые 14 сут, в т.ч. при введении РПП в дозировке 1%. При дозировке РПП 2 и 3 % имеет место замедление развития деформаций усадки после 14 сут, что обусловлено резким ростом интенсивности обезвоживания в первые 14 сут. Рецептурные факторы практически не влияют на протекание процесса.

Показано, что независимо от дозировки РПП значения условного показателя усадочной трещиностойкости не превышают значения показателя эталонного МЗБ без РПП и ВУД. В возрасте 120 сут в составе с ВУД, но без РПП, значение условного показателя усадочной трещиностойкости превышает значение показателя эталонного МЗБ, что наглядно демонстрирует положительное влияние РПП на усадочную трещиностойкость при длительном выдерживании в воздушно-сухих условиях.

Предложено уравнение, описывающее кинетику усадки и предложена классификация по кинетике усадки:

$$\frac{\varepsilon_{sh,\tau}}{\varepsilon_{sh,120}} = \exp\left(k \left(1 - \left(\frac{120}{\tau}\right)^x\right)\right), \quad (3)$$

где значения k соответственно 0,15 для быстропротекающей усадки и 0,45 для медленнопротекающей усадки, x соответственно 0,6 и 0,7.

В пятой главе представлены результаты исследований влияние комплексной минеральной добавки на стойкость строительных растворов при различных температурных и влажностных воздействиях. Установлено, что открытая капиллярная пористость содержащих КМД строительных растворов составляет от 0,96 до 1,13 относительно бездобавочного эталона, а условно-закрытая капиллярная (резервная) пористость содержащих КМД строительных растворов возрастает до 1,23 раза, в связи, с чем сделан вывод, что не следует рассматривать введение КМД как фактор, обеспечивающий повышение морозостойкости. Имеет место увеличение величины полной пористости с ростом дозировки РПП вследствие дополнительного воздухововлечения. Величина полной пористости после выдерживания в воздушно-сухих условиях выше, чем после замораживания и оттаивания. Вид минеральной добавки (опока или зола) мало влияет на полную пористость после различных видов воздействий. В составах с РПП несколько повышается условно-закрытая пористость, при этом степень повышения зависит

как от дозировки РПП, так и от вида МД, что свидетельствует о положительной роли РПП в обеспечении стойкости строительных растворов при рассматриваемых воздействиях. Характер изменения предела прочности при сжатии с ростом числа циклов замораживания и оттаивания в содержащих РПП составах принципиально отличается от бездобавочного эталона. Во всех исследованных составах после 100 циклов замораживания и оттаивания выполняется условие $R_F/R_0 > 1,2$, при нормируемом значении $> 0,8$ по ГОСТ Р 58277-2018. Значения критерия $k = X_{min}^{II}/X_{min}^I$, по п. 5.2.4 ГОСТ 10060-2012 после 100 – 125 циклов замораживания и оттаивания составили от 0,94 до 1,73 при нормируемом значении $> 0,9$, т.е. по критерию «изменение предела прочности при сжатии» морозостойкость исследованных строительных растворов после 100 циклов замораживания и оттаивания не исчерпана, прогнозируемое значение превышает F150.

Изменение динамического модуля упругости строительных растворов после 100 циклов замораживания и оттаивания в составах с опокой составляет $E_F/E_0 = 1,04$, с золой уноса $E_F/E_0 = 1,09$. Минимальное значение $E_F/E_0 = 0,97$ свидетельствует о том, что по критерию «изменение динамического модуля упругости» по п. А.5 ГОСТ 10060-2012 морозостойкость исследованных строительных растворов не исчерпана, нормируемое значение $E_F/E_0 > 0,75$. По рассматриваемому критерию прогнозируемое число циклов замораживания и оттаивания в зависимости от вида МД и дозировки РПП составило от 140 до 325 циклов.

По критерию «изменение деформаций остаточного расширения» по п. А.5 ГОСТ 10060-2012 0,1 % (допустимое значение 1 мм/м) все исследованные строительные растворы выдержали испытания. После незначительного расширения в ранний период циклического замораживания и оттаивания имеет место тенденция к уменьшению объема испытуемых образцов, более выраженная у составов с золой-уноса. Критерий «изменение деформаций остаточного расширения» в рассматриваемом случае не информативен.

Предложен не представленный в нормативных документах критерий морозостойкости «изменение предела прочности при изгибе». Установлено, что

составы с золой - уноса показывают меньшее снижение показателя $R_{f,F}/R_{f,0}$ в сравнении с опокой. Предложено и обосновано значение критерия морозостойкости $R_{f,F}/R_{f,0}$ от 0,76 до 0,93. Введение РПП в дозировке более 2 % с точки зрения обеспечения морозостойкости как по критерию «изменение предела прочности при изгибе», так и по критерию «изменение предела прочности при сжатии», нецелесообразно. Критерий морозостойкости «изменение предела прочности при изгибе» является более «жестким» относительно критериев по ГОСТ 10060-2012. Прогнозируемое число циклов замораживания и оттаивания в зависимости от величины критерия составило от 19 до более 100.

Все содержащие в составе КМД золу-уноса составы и составы с РПП, содержащие в составе КМД опоку после 100 циклов замораживания и оттаивания имели прочность сцепления с основанием A_F более 1 МПа, что превосходит нормативные требования для класса клеевой смеси С2 по ГОСТ Р 56387-2018.

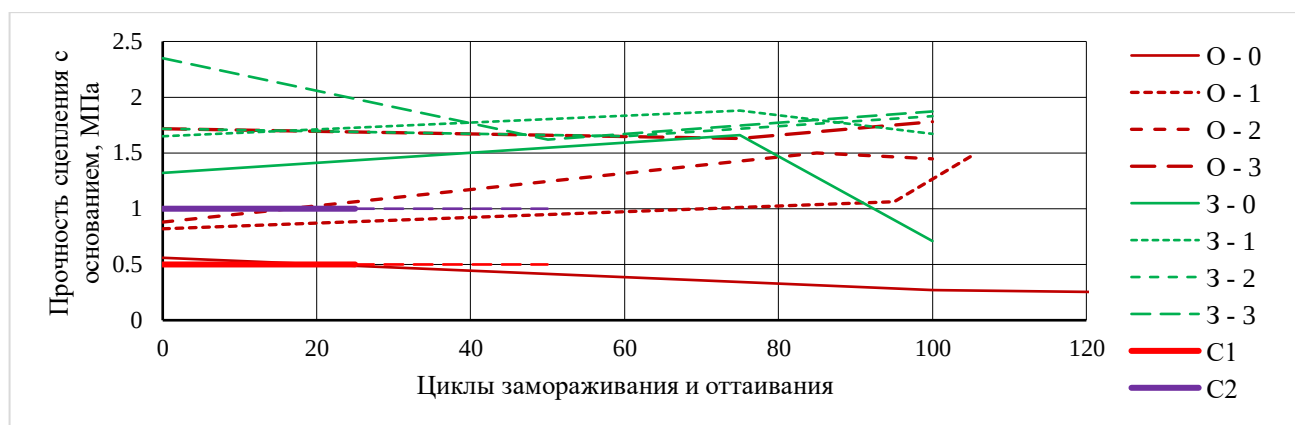


Рисунок 2 - Влияние дозировки РПП на изменение прочности сцепления (адгезии) при циклическом замораживании и оттаивании, где 0 – 3 – дозировка РПП, %; О – опока в составе КМД; 3 – зола в составе КМД; С1, С2 – класс клеевой смеси по ГОСТ Р 56387-2018

При использовании в качестве критерия соотношение $A_F/A_0 = 0,8$ состав с золой при РПП = 3%, составы с опокой и золой без РПП не выдержали 100 циклов замораживания и оттаивания по критерию «изменение прочности сцепления». При отсутствии РПП в составе строительного раствора имеет место довольно тесная корреляция между прочностью сцепления с основанием и пределом прочности при

изгибе. При наличии в составе РПП явная зависимость отсутствует, а прочность сцепления с основанием составляет от 0,275 до 0,507 величины предела прочности при изгибе. РПП при дозировке 1-2% оказывает значительное положительное влияние на повышение морозостойкости контактной зоны. После выдерживания 120 сут в воздушно-сухих условиях имеет место повышение соотношений прочности при сжатии R_T/R_0 и при изгибе R_{fT}/R_{f0} , соотношение динамических модулей упругости E_T/E_0 с ростом дозировки РПП. Соотношение прочностей сцепления изменяется менее выражено, дозировка РПП 3% нецелесообразна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования.

1. Рост пределов прочности при сжатии до 20%, при изгибе до 22% обеспечивает введение 20% КМД от массы цемента при соотношении Ш/МД=50%/50%. Лучшие показатели имеет КМД с опокой, зола-уноса и горелая порода имеют примерно равную эффективность. Состав КМД и дозировка РПП незначительно влияют на соотношение пределов прочности при изгибе и сжатии. В воздушно-сухих условиях РПП обеспечивает повышение предела прочности при изгибе. В зависимости от вида МД и состава КМД значение R_2/R_{28} составляет от 0,36 до 0,67, у эталона 0,53 – 0,55. С ростом содержания РПП величина R_2/R_{28} снижается и составляет от 0,37 до 0,51. При выдерживании в воздушно-сухих условиях предел прочности при сжатии МЗБ составляет от 0,71 до 0,84 относительно нормальных условий, при наличии в составе РПП от 0,87 до 0,98. КМД не повышает начальный модуль упругости, состав КМД и содержание РПП практически не влияют на зависимость модуля упругости от прочности при сжатии.

2. Открытая капиллярная пористость содержащих КМД составов составляет от 0,96 до 1,13 относительно бездобавочного эталона, а условно-закрытая капиллярная (резервная) пористость возрастает до 1,23 раза. РПП и ВУД повышают полную пористость за счет воздухововлечения, при этом снижение предела прочности при сжатии составляет до 2,75% на один процент дополнительной пористости.

3. В нормальных условиях рост дозировки РПП повышает прочность сцепления со стандартным бетонным основанием, в воздушно-сухих условиях без РПП прочность сцепления снижается до 35-13% (опока-зола), с РПП до 25-15%. Прочность сцепления с основанием у составов с опокой составляет 0,08...0,22, с золой-уноса 0,2...0,25 от предела прочности при изгибе. В зависимости от состава и дозировки КМД деформации усадки составляют от 0,45 мм/м до 1,244 мм/м, при этом в первые две недели доля деформаций усадки составляет от 0,4 до 0,79 от полной. При равной степени высыхания составы с КМД характеризуются более интенсивным ростом деформаций усадки. Ведение РПП и ВУД приводит к росту деформаций усадки до 2 и более раз, основное повышение вызывает ВУД. В воздушно-сухих условиях повышаются значения коэффициентов стойкости $k=R_T/R_0$ при сжатии и $k=R_{f,T}/R_{f,0}$ при изгибе, а также $k=E_T/E_0$ с ростом дозировки РПП до 2%.

4. Во всех составах после 100 циклов замораживания и оттаивания обеспечено условие $R_F/R_0 > 1,2$ (по ГОСТ Р 58277-2018 не менее 0,8). Значения критерия $k = X_{min}^{II}/X_{min}^I$, по п. 5.2.4 ГОСТ 10060-2012 составили от 0,94 до 1,73 (по ГОСТ не менее 0,9). Прогнозируемая морозостойкость по критерию прочности при сжатии превышает F150. Изменение динамического модуля упругости составило $E_F/E_0 = 1,04$ с опокой и $E_F/E_0 = 1,09$ с золой уноса при критерии по п. А.5 ГОСТ 10060-2012 $E_F/E_0 > 0,75$, прогнозируемое число циклов замораживания и оттаивания от 140 до 325. Не нормируемый критерий морозостойкости «изменение предела прочности при изгибе» является более «жестким» относительно критериев ГОСТ 10060-2012, значения $R_{f,F}/R_{f,0}$ от 0,76 до 0,93, прогнозируемое число циклов замораживания и оттаивания от 19 до 140.

5. Все содержащие в составе КМД золу-уноса составы и составы с РПП, содержащие в составе КМД опоку после 100 циклов замораживания и оттаивания имели превосходящие нормативные требования для класса клеевой смеси С2 по ГОСТ Р 56387-2018 значения прочности сцепления с основанием A_F более 1 МПа. Прочность сцепления с основанием после 100 циклов замораживания и оттаивания составила от 0,275 до 0,507 от предела прочности при изгибе. Прогнозируемая

морозостойкость от 25 до 150 циклов. Дозировка РПП 1-2% оказывает значительное положительное влияние на повышение морозостойкости контактной зоны.

Перспективы дальнейших исследований. Целесообразно исследовать эффективность применения иных редиспергируемых полимерных порошков и водоудерживающих добавок в составе ССС различного назначения.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ

1. Несветаев, Г. В. Влияние некоторых минеральных добавок на свойства мелкозернистых бетонов и строительных растворов / Г. В. Несветаев, **И. А. Животкова** // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 5(113).
2. Несветаев, Г. В. Влияние некоторых минеральных добавок на деформации усадки строительных растворов / Г. В. Несветаев, Г. Н. Хаджишалапов, **И. А. Животкова** // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 7(115).
3. Несветаев, Г. В. Морозостойкость строительных растворов из сухих строительных смесей с модификаторами / Г. В. Несветаев, Г. Н. Хаджишалапов, **И. А. Животкова** // Инженерный вестник Дона. – 2024. – № 10(118).
4. Несветаев, Г. В. Влияние редиспергируемых полимерных порошков на некоторые свойства строительных растворов с комплексными минеральными добавками / Г. В. Несветаев, Г. Н. Хаджишалапов, **И. А. Животкова** // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2024. – Т. 51, № 4. – С. 217-225. – DOI 10.21822/2073-6185-2024-51-4-217-225.
5. Несветаев, Г. В. Сравнительный анализ оценки морозостойкости модифицированных строительных растворов по различным критериям / Г. В. Несветаев, Г. Н. Хаджишалапов, **И. А. Животкова** // Инженерный вестник Дона. – 2025. – № 2(122).
6. Несветаев, Г. В. Анализ критериев стойкости модифицированных строительных растворов при различных воздействиях / Г. В. Несветаев, Г. Н.

Хаджишалапов, **И. А. Животкова** // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2025. – Т.52, №1. – С.210-218.

Публикации в других изданиях:

7. Животкова, И. А. К вопросу использования шлама химводоочиски в производстве строительных материалов. Обзор / **И. А. Животкова** // Научно-инновационные исследования и разработки: новые вызовы современности: Сборник статей II Международной научно-практической конференции, Москва, 09 апреля 2024 года. – Москва: «Центр дополнительного профессионального образования «цифровая академия», 2024. – С. 75-83.

8. Животкова, И. А. К вопросу использования техногенного сырья в производстве бетонных и растворных строительных смесей / **И. А. Животкова**, Л. А. Омарова // Неделя науки 2024: сб. матер. 45 итоговой науч.-техн. конф. преподавателей, сотрудников, аспирантов и студентов ДГТУ. Махачкала: ДГТУ, 2024

9. Животкова, И. А. Влияние полимеров на параметры пористости, прочность и критерий морозостойкости строительных растворов с минеральными добавками / **И. А. Животкова** // Глобальные научные тенденции: интеграция и инновации: Сборник статей VII Международной научно-практической конференции, Саратов, 20 ноября 2024 года. – Саратов: Научно-образовательная платформа «Цифровая наука», 2024. – С. 12-17.

10. Животкова, И. А. Прогноз морозостойкости строительных растворов с минеральными добавками по критериям морозостойкости / **И. А. Животкова**, Л. А. Омарова // Современные строительные технологии и материалы: Сборник научных трудов. – Махачкала: Дагестанский государственный технический университет, 2024. – С. 42-47.

11. Животкова, И. А. Влияние условий выдерживания на пористость и прочность строительных растворов из сухих строительных смесей / **И. А. Животкова** // Инновации в науке: вызовы и перспективы будущего: сборник статей

Международной научно-практической конференции, Саратов. – Саратов: НОП «Цифровая наука», 2024. – С. 40-46.

12. Животкова, И. А. Влияние некоторых минеральных добавок на параметры пористости и критерий морозостойкости строительных растворов / **И. А. Животкова** // Наука, технологии и общество: взаимодействие и перспективы. Сборник статей II Международной научно-практической конференции. Москва: МНИЦ «Твоя наука».- 2024. - С. 27-31.

13. Животкова, И. А. Влияние некоторых минеральных добавок на параметры прочности при сжатии мелкозернистого бетона / **И. А. Животкова** // Академическая наука. – 2025. – № 2. – С. 93-96. – DOI 10.24412/3034-4042-2025-2-93-96.

Животкова Ирина Александровна

**СУХИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СМЕСИ И БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ
МОДИФИЦИРОВАННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДОВ**

Специальность 2.1.5 Строительные материалы и изделия

АВТОРЕФЕРАТ

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

Подписано в печать хх.хх.2025 Формат 60х84/16. Усл. печ. л. 1,0

Тираж 100 экз. заказ № ххх

Отпечатано в