

*На правах рукописи*



Долгова Анна Владимировна

**МОРОЗОСТОЙКОСТЬ, ПРОЧНОСТЬ СЦЕПЛЕНИЯ И  
МОРОЗОСТОЙКОСТЬ КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ  
РАСТВОРОВ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ  
НА ЦЕМЕНТНОМ ВЯЖУЩЕМ**

Специальность 05.23.05 – Строительные материалы и изделия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Ростов-на-Дону

2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ростовский государственный университет путей сообщения»

**Научный руководитель:**

доктор технических наук, профессор **Несветаев Григорий Васильевич**

**Официальные оппоненты:**

**Лесовик Руслан Валерьевич** - доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова», кафедра «Строительного материаловедения, изделий и конструкций», профессор;

**Сайдумов Магомед Саламувич** - кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова», научно-технический центр коллективного пользования, директор «Современные строительные материалы и технологии»

**Ведущая организация:**

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Воронежский государственный технический университет».

Защита состоится «19» декабря 2020 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д212.052.03 при ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» по адресу: 367026, г. Махачкала, пр. И. Шамиля, 70, каб. 202.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный технический университет» <http://www.dstu.ru/>. Сведения о защите и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования РФ <http://vak.ed.gov.ru/>.

Рассылка автореферата состоится «21» октября 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
кандидат технических наук

Х.Р. Зайнулабидова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Совершенствование строительных технологий возможно на основе новых эффективных строительных материалов, свойства которых в наибольшей степени соответствуют внешним воздействиям как при производстве работ, так и в процессе эксплуатации. Сухие строительные смеси (ССС) получили широкое применение в современном строительстве, при этом из всей номенклатуры производимых ССС клеевые смеси на цементном вяжущем составляют более трети всего объема. Для получения надежного и долговечного покрытия на основе ССС необходимо обеспечить в т.ч. прочность сцепления с основанием в течение всего периода эксплуатации. Для получения требуемых строительно-технических свойств ССС, в т.ч. клеевых на цементном вяжущем, в их состав вводят модификаторы на основе полимеров, в т.ч. ретиспергируемые полимерные порошки (РПП), а также низкомолекулярные включения (НМВ). Актуальную задачу представляет выявление основных закономерностей влияния РПП и НМВ при совместном введении на свойства строительных растворов, полученных из ССС, в т.ч. клеевых на цементном вяжущем, и выявление количественных зависимостей, описывающих влияние дозировки РПП и НМВ на строительно-технические свойства строительных растворов и растворных смесей. Важным направлением исследований является изучение закономерностей изменения прочности сцепления с бетонным основанием модифицированных РПП и НМВ строительных растворов различного назначения, в т.ч. клеевых, в процессе эксплуатации при циклическом замораживании-оттаивании.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросы влияния дозировки РПП на свойства сухих строительных смесей на цементном вяжущем изучены недостаточно, особенно в сочетании с применением НМВ различного типа, позволяющих регулировать деформационные свойства и морозостойкость строительных растворов различного назначения, в т.ч. клеевых. Вопросы влияния замораживания-оттаивания на свойства строительных растворов, модифицированных РПП, особенно в сочетании с НМВ требуют продолжения исследований, особенно в части изучения закономерностей изменения прочности сцепления с основанием при циклическом замораживании-оттаивании (морозостойкость контактной зоны). Необходимо установить закономерности изменения величин внутрисерийного коэффициента вариации как прочности на сжатие и растяжение, так и прочности сцепления с основанием при циклическом замораживании-оттаивании и его связь с коэффициентом морозостойкости с целью совершенствования методики испытаний.

**Цели и задачи исследования.** Целью работы является развитие научных представлений об основных закономерностях влияния РПП и НМВ на морозостойкость, прочность сцепления с бетонным основанием и морозостойкость контактной зоны строительных растворов различного назначения, полученных из ССС на цементном вяжущем.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать влияние дозировки РПП и типа НМВ на свойства полученных из ССС строительных растворов после 28 суток твердения в НУ и после циклического замораживания - оттаивания;

- выявить закономерности влияния дозировки РПП и типа НМВ на морозостойкость, полученных из ССС строительных растворов по критерию прочности;

- выявить закономерности влияния дозировки РПП и типа НМВ на морозостойкость контактной зоны полученных из ССС строительных растворов по критерию прочности сцепления с бетонным основанием.

**Научная новизна работы.** Доказана эффективность совместного применения РПП и НМВ с целью повышения морозостойкости контактной зоны, полученных из ССС строительных растворов различного назначения и выявлены основные закономерности изменения прочности сцепления от рецептурных факторов. Установлено, что при совместном введении РПП и НМВ обеспечивается повышенной морозостойкостью полученных из ССС строительных растворов различного назначения как по критерию прочности на сжатие и растяжение, так и по критерию прочности сцепления с бетонным основанием. Показано влияние РПП, в т.ч. при совместном введении с НМВ, на изменение внутрисерийных коэффициентов вариации прочности на сжатие, прочности сцепления и коэффициент морозостойкости по критериям прочности на сжатие, растяжение и прочности сцепления. Определены рациональные дозировки РПП, в т.ч. при совместном введении с НМВ с целью повышения морозостойкости контактной зоны полученных из ССС строительных растворов различного назначения.

**Теоретическая значимость работы.** Теоретическая значимость заключается в развитии научных представлений:

- об инвариантности к рецептурным факторам и условиям твердения зависимости между начальным модулем упругости и пределом прочности на сжатие строительных растворов, полученных из ССС на цементном вяжущем;

- о влиянии НМВ на морозостойкость, в т.ч. контактной зоны, строительных растворов, различающихся упругими свойствами и характером пористости за счет введения в их состав РПП;

- о зависимостях коэффициентов морозостойкости, полученных с учетом и без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности, как по критерию прочности, так и по критерию прочности сцепления с основанием.

**Практическая значимость работы.** Практическая значимость заключается в получении следующих результатов:

- выявлены основные закономерности влияния и получены количественные зависимости строительно-технических свойств растворов, полученных из ССС на цементном вяжущем, после 28 суток твердения в НУ и

после 75 циклов замораживания-оттаивания от дозировки РПП, в т.ч. при введении совместно с различными типами НМВ;

- сформулировано предложение о целесообразности рассмотрения вопроса об учете внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления при определении морозостойкости контактной зоны;

- произведена оценка экономической эффективности в результате корректировки рецептур ССС с рациональными дозировками НМВ и РПП. Результаты исследований рассмотрены, одобрены и используются ООО «Инсула» при производстве клеевых и штукатурных ССС.

**Методология и методы диссертационного исследования.** В качестве методологической основы использованы современные положения теории и практики строительного материаловедения «состав-технология-структура-свойства» применительно к исследованию морозостойкости, полученных из ССС строительных растворов различного назначения на цементном вяжущем. В работе использовались стандартные методы исследования физико-механических свойств строительных растворов и смесей, исследовательские методы и методы математической статистики при обработке экспериментальных данных, полученных с применением технологического планирования эксперимента.

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

- результаты исследований влияния дозировки РПП и типа НМВ на прочностные и деформационные свойства, прочность сцепления с основанием и морозостойкость контактной зоны полученных из ССС строительных растворов различного назначения на цементном вяжущем;

- зависимости строительно-технических свойств от условий выдерживания и дозировки РПП, в т.ч. при совместном введении с различными типами НМВ;

- закономерности изменения внутри серийных коэффициентов вариации прочности на сжатие и растяжение, прочности сцепления с основанием после твердения в нормальных условиях и при циклическим замораживании-оттаивании.

**Достоверность результатов исследований.** Достоверность результатов исследований обеспечена проведением необходимого объема экспериментальных исследований, применением методов математической статистики при обработке экспериментальных данных, полученных с применением технологического планирования эксперимента. Также степень достоверности подтверждается внедрением в практическую деятельность результатов исследований на предприятии ООО «Инсула» (Ростовская область) для корректировки (разработки) рецептуры при производстве клеевых и штукатурных ССС с рациональными дозировками НМВ и РПП.

**Апробация диссертационной работы.** Основные результаты работы представлены на: международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество» (г. Тамбов, 2019 г.), всероссийской национальной научно-практической конференции «Инновационные технологии в

строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры», (г. Ростов-на-Дону, 2019 г.), международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» (Транспорт-2020, г. Ростов-на-Дону, 2020 г.).

**Публикации.** По теме диссертационного исследования опубликовано 12 научных работ, в том числе **7 работ** в российских рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, **2 статьи** в изданиях, входящих в международные реферативные базы данных и систем цитирования Scopus.

**Структура и объем работы.** Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 163 наименований, 2 приложений. Диссертация изложена на 147 страницах машинописного текста и содержит 55 рисунков, 39 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** сформулированы цели и задачи исследования, изложена актуальность темы, научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** приведен анализ публикаций, посвященных совершенствованию свойств ССС, в т.ч. клеевых смесей на цементном вяжущем. Исследованиям в этой области посвящены работы Безбородова В.А., Дергунова С.А., Загороднюк Л.Х., Козлова В.В., Кудякова А.И., Лесовика В.С., Лесовика Р.В., Логаниной В.И., Парута В.А. и др. Исследования посвящены вопросам влияния на свойства ССС посредством введения в их состав комплексных модифицирующих добавок, в т.ч. органо-минеральных. Поскольку для декоративно-защитных растворов, в т.ч. клеевых, наряду с обеспечением требуемых прочностных и деформационных свойств важным является обеспечение прочности сцепления с основанием, в т.ч. при циклическом замораживании-оттаивании, а этот вопрос, судя по обзору, исследован недостаточно, основное направление исследований в данной работе направлено на изучении эффективности совместного применения РПП и НМВ с целью повышения морозостойкости контактной зоны, полученных из ССС строительных растворов различного назначения и выявление основных закономерности изменения прочности сцепления от рецептурных факторов.

**Во второй главе** приведены характеристики использованных в экспериментальных исследованиях материалов и описаны методики исследований. Основные исследования проведены на 36 составах ССС, отличающихся видом ПЦ, видом и дозировкой РПП, наличием и типом НМВ. Используются три портландцемента: ПЦ-1 – ЦЕМ I 42,5 Н производителя АО «Евроцементгрупп» Воронежский филиал (Подгоренский), ПЦ-2 – ЦЕМ I 52,5 Н, производителя ЗАО «Осколцемент», ПЦ-3 – ЦЕМ I 42,5 Н СС, производителя АО «Подольск-цемент». В качестве модифицирующих добавок использовались РПП с дозировкой от 0 до 3% от массы сухой смеси: РП-3 – VINA VILE 06 PA и РП-4 – VINA VIL SL11P производителя «Vinavil S.p. A.» (Италия), РП-5 –

VINNAPAS 4042 Н производителя «Wacker Chemie AG» (Германия). Выбор РПП основан на результатах предварительных исследований. В качестве НМВ использовались: воздухововлекающая добавка (ВВ) Esapon 1214 производителя «Lamberti» (Италия), зольные микросферы (МС) Новочеркасской ГРЭС.

Свойства полученных из ССС строительных растворов изучались с использованием в основном методов испытаний по ГОСТ 310.4, ГОСТ 31356, ГОСТ 31357, ГОСТ 10060, ГОСТ 12730.3, ГОСТ 12730.4. Испытания проводились на поверенном оборудовании: гидравлический пресс СИ-2-100-УХЛ4.2, прибор ОНИКС-АП №133, приборе ПУЛЬСАР-2.2, электронные весы, морозильная камера и др.

**В третьей главе работы** приведены результаты исследования влияния дозировки РПП и типа НМВ на свойства полученных из ССС строительных растворов после 28 суток твердения в НУ и после 75 циклов замораживания-оттаивания. На первом этапе исследования изучено влияние дозировки РПП на свойства строительного раствора после 28 суток твердения в НУ. Выявлено, что введение в состав модифицированного раствора РПП в количестве до 3% от массы сухой смеси приводит к снижению предела прочности на растяжение при изгибе до 15%, начального модуля упругости до 26%, росту сцепления модифицированного состава с бетонным основанием до 37%. Подтверждено наличие однозначной зависимости между начальным модулем упругости строительных растворов и пределом прочности на сжатие. Не выявлено явной зависимости между пределом прочности на растяжение при изгибе и прочностью сцепления с бетонным основанием. Отмечено некоторое снижение сцепления с бетонным основанием при росте показателей прочности и модуля упругости. Введение НМВ совместно с РПП приводит к снижению предела прочности на изгиб до 25%, начального модуля упругости до 40%.

Влияние дозировки РПП на прочность сцепления с бетонным основанием зависит от вида цемента, повышение сцепления составляет до 33%, а при совместном введении НМВ и РПП до 49% относительно бездобавочного эталона.

В качестве показателя, характеризующего прочность сцепления в процессе эксплуатации с бетонным основанием, предложен показатель условного относительного уровня напряжений:

$$u(\sigma) = \frac{\Delta\varepsilon \cdot E_0}{R_t \cdot (1 + \varphi)}, \quad (1)$$

где  $\Delta\varepsilon$  – разность деформаций раствора и основания, обусловленная различием величин коэффициентов линейного температурного расширения при наличии температурного градиента;

$E_0$  – начальный модуль упругости раствора;

$R_t$  – предел прочности раствора на растяжение;

$\varphi$  – коэффициент ползучести раствора.

На рис. 1 представлены значения  $u(\sigma)$  по ф.(1) при  $\varphi = 0$  в зависимости от дозировки РПП и НМВ. Снижение величины  $u(\sigma)$  может составлять до 21%.

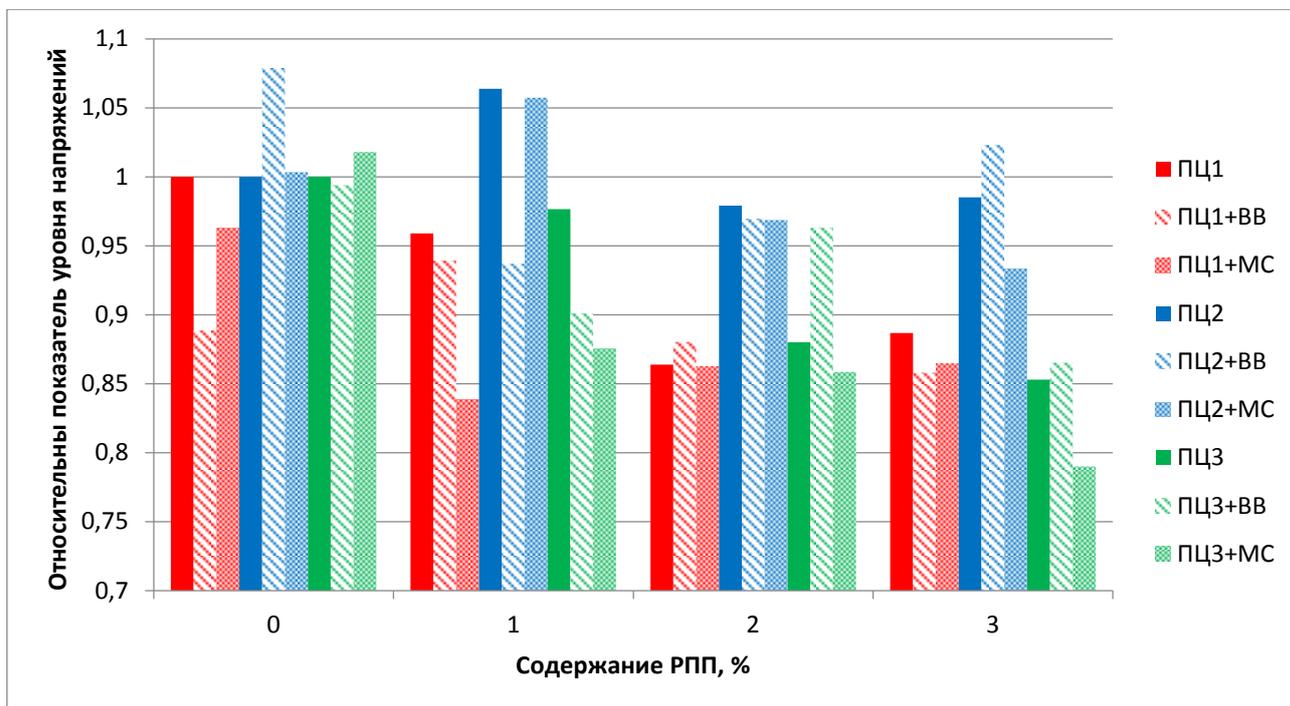


Рисунок 1 – Зависимость показателя условного относительного уровня напряжений по ф. (1) от вида цемента, дозировки РПП и НМВ; ПЦ1, (2; 3) – виды цементов; ВВ, МС – типы НМВ

Высказано предположение о том, что величина  $u(\sigma)$  может являться показателем, характеризующим повышение морозостойкости контактной зоны строительного раствора. Установлено, что при введении РПП до 3% от массы сухой смеси происходит снижение предела прочности на растяжение при изгибе до 23%, начального модуля упругости до 32%, при этом 75 циклов замораживания-оттаивания не повреждают структуру строительных растворов. Зафиксирован рост значений величины сцепления с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания до 49% по сравнению с контрольными образцами. Выявлено, что независимо от вида цемента повышение дозировки РПП до 3% не оказывает отрицательного влияния на величину прочности сцепления с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания.

Установлено, что при совместном введении НМВ и РПП повышается прочность при изгибе после циклического замораживания-оттаивания. Лучшие показатели зафиксированы в составах ПЦ-2 с добавкой МС при дозировке РПП 2%. Выявлено преимущество МС по сравнению с ВВ в качестве добавки, повышающей морозостойкость состава. Зависимость между начальным модулем упругости и пределом прочности на сжатие для растворов без НМВ и с МС практически не изменяется, что доказывает утверждение о сохранности структуры растворов после 75 циклов замораживания-оттаивания. Повышение

предела прочности сцепления после 75 циклов замораживания-оттаивания по сравнению нормальными условиями твердения составило в составах с ВВ от 7 до 82%, в составах с МС от 14 до 62%. Все испытанные составы вне зависимости от наличия НМВ после 75 циклов замораживания-оттаивания относятся к классу сцепления С-1, т.е. обеспечивают прочность сцепления не менее 0,5 МПа. Составы, содержащие РПП в дозировке 1 – 2% в сочетании с НМВ после 75 циклов замораживания-оттаивания относятся к классу сцепления С-2, т.е. обеспечивают прочность сцепления не менее 1,0 МПа.

**В четвертой главе** приведены результаты исследования влияния рецептурных факторов на показатели поровой структуры и морозостойкость полученных из ССС строительных растворов. Изучено влияние модификаторов на изменение общей, открытой и условно-закрытой пористости и проанализировано влияние изменения пористости в результате изменения рецептуры на строительные-технические свойства полученных из ССС строительных растворов. Установлено, что в зависимости от дозировки РПП при введении в состав МС возможно как увеличение общей пористости до 10%, так и уменьшения до 25%. При введении ВВ в зависимости от вида цемента и дозировки РПП возможно как повышение общей пористости до 13%, так и снижения до 18%, что связано с влиянием РПП на способность смеси удерживать вовлеченный воздух в зависимости от изменения вязкости смеси.

Не выявлено явной зависимости между прочностью сцепления с основанием и прочностью на изгиб от характера пористости. В качестве возможных критериев морозостойкости рассматривались открытая пористость и соотношение условно-закрытой и открытой пористости. В составах без НМВ не выявлено взаимосвязи между изменением предела прочности при изгибе после циклического замораживания-оттаивания и открытой пористостью. В составах с НМВ и РПП отмечено отсутствие снижения предела прочности на растяжение при изгибе с ростом открытой пористости. В составах без НМВ и в составах с МС не выявлена взаимосвязь между открытой пористостью и величиной прочности сцепления с основанием после циклического замораживания-оттаивания. В составах с ВВ с увеличением открытой пористости не отмечено снижение прочности сцепления с основанием после циклического замораживания-оттаивания. Выявленные закономерности, противоречащие, на первый взгляд известным положениям о влиянии открытой пористости на морозостойкость, объясняются отсутствием явно выраженных деструктивных процессов на базе измерения морозостойкости в 75 циклов. Морозостойкость исследованных растворов выше 75 циклов. Также не выявлено явной зависимости изменения прочности сцепления и прочности на растяжение при изгибе после 75 циклов замораживания-оттаивания от критерия «условно-закрытая пористость / открытая пористость».

Поскольку ГОСТ 10060-2012 при определении коэффициента морозостойкости предписывает определять значения прочности контрольных и основных образцов с учетом внутрисерийного коэффициента вариации, а ГОСТ 58277-2018 не учитывает внутрисерийный коэффициент вариации при

определении морозостойкости растворов и морозостойкости контактной зоны, а в литературе практически отсутствуют данные о соотношении результатов, полученных с учетом и без учета внутрисерийного коэффициента вариации, этот вопрос рассмотрен применительно к морозостойкости раствора по критерию прочности и морозостойкости контактной зоны, т.е. по критерию прочности сцепления с основанием.

В соответствии с ГОСТ 10060 значение коэффициента морозостойкости с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности после  $N$  циклов замораживания-оттаивания представлено в виде:

$$k_{F,ГОСТ} = \frac{R_{F,lim}}{R_{0,lim}} = \frac{R_F}{R_0} \cdot \frac{1-\beta \cdot d \cdot v_0}{1-\beta \cdot v_0} = k_{F,R} \cdot k_v > 0,9. \quad (2)$$

где  $K_{F,R}$  – значения коэффициентов морозостойкости исследуемых составов без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности;

$K_{F,ГОСТ}$  – с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности (по ГОСТ 10060-2012);

$k_v$  – функция, учитывающая влияние внутрисерийного коэффициента вариации прочности;

$d$  – изменение внутрисерийного коэффициента вариации прочности, вследствие замораживания-оттаивания.

В табл. 1 представлены средние значения коэффициентов морозостойкости исследуемых составов, определенные с учетом и без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности по всем исследованным сериям.

Таблица 1 – Среднее значение коэффициентов морозостойкости

Коэффициент морозостойкости	Составы		
	ПЦ	ПЦ+МС	ПЦ+ВВ
$K_{F,R}$	1,012	1,044	1,068
$K_{F,ГОСТ}$	1,185	1,062	1,103
$K_{F,ГОСТ} / K_{F,R}$	1,17	1,02	1,03

Очевидно, что учет внутрисерийного коэффициента вариации прочности обеспечивает повышенные значения коэффициента морозостойкости при отсутствии НМВ, в составах с НМВ различие незначительно. Анализ влияния вида цемента, наличия и дозировки РПП и НМВ не выявил явной закономерности влияния указанных факторов на изменение величины внутрисерийного коэффициента вариации предела прочности контрольных и основных образцов. Отмечено некоторое снижение внутрисерийного коэффициента вариации прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-

оттаивания относительно контрольных только в составах на ПЦ-3 (сульфатостойкий цемент).

Анализ влияния на функцию значений  $d$ ,  $\nu_0$  представлен на рис.2. В исследованиях отмечен рост функции  $k_v$  в отдельных составах до 50%.

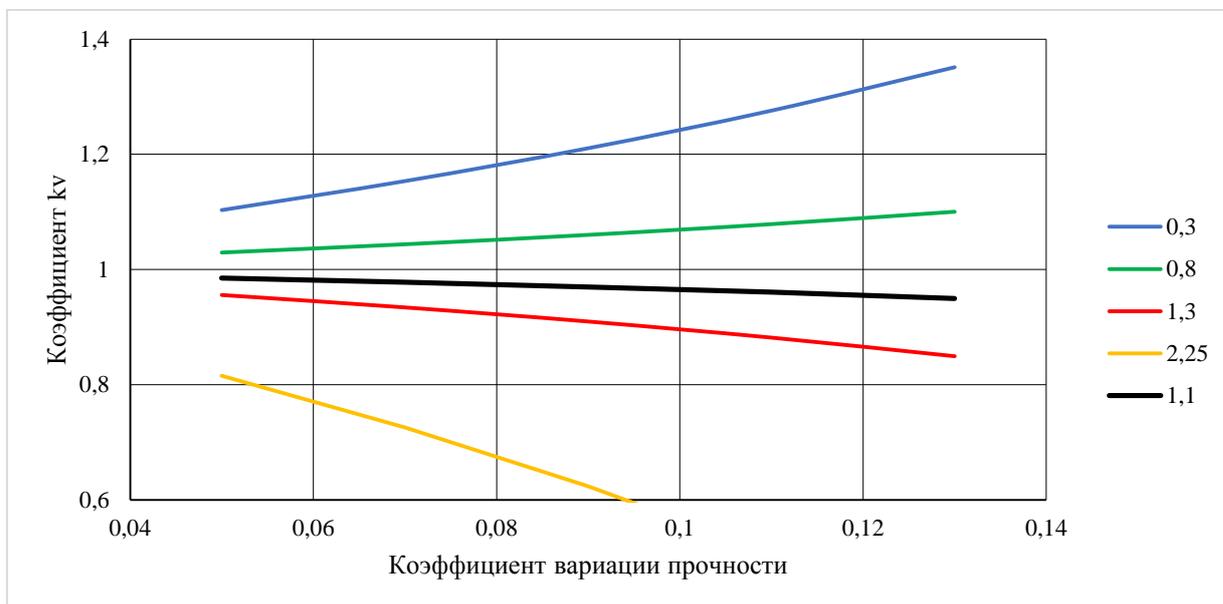


Рисунок 2 – Взаимосвязь между функцией  $k_v$ , внутрисерийным коэффициентом вариации прочности контрольных образцов и величиной  $d$ ; 0,3; 0,8; 1,1; 1,3; 2,25 – соответствующие значения  $d$

Определена корреляция коэффициентов морозостойкости модифицированных составов по критерию предела прочности на сжатие по предыдущей и действующей редакции ГОСТ 10060, которая представляет линейную функцию. Результаты, полученные в настоящем исследовании, хорошо коррелируют с немногочисленными данными других исследователей (рис. 3).

В табл. 2 представлены функции соотношения коэффициентов морозостойкости с учетом и без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности.

Соотношение между коэффициентами морозостойкости с учетом и без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности в случае применения НМВ в виде ВВ с достаточной для практических целей точностью определяются однозначно. В составах без НМВ и с МС сильное влияние на соотношение других факторов.

Наличие некоторой зависимости между коэффициентом морозостойкости и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности основных образцов (рис. 4) связано с закономерностью сохранения однородности структуры при циклическом замораживании-оттаивании. Низкие значения внутрисерийного коэффициента вариации прочности свидетельствуют, в т.ч., о высокой однородности структуры. При снижении однородности, связанной с деструктивными процессами при циклическом замораживании-оттаивании,

закономерно будет возрастать внутрисерийный коэффициент вариации прочности и снижаться коэффициент морозостойкости бетона. Таким образом, внутрисерийный коэффициент вариации прочности основных образцов может рассматриваться как дополнительный критерий морозостойкости.

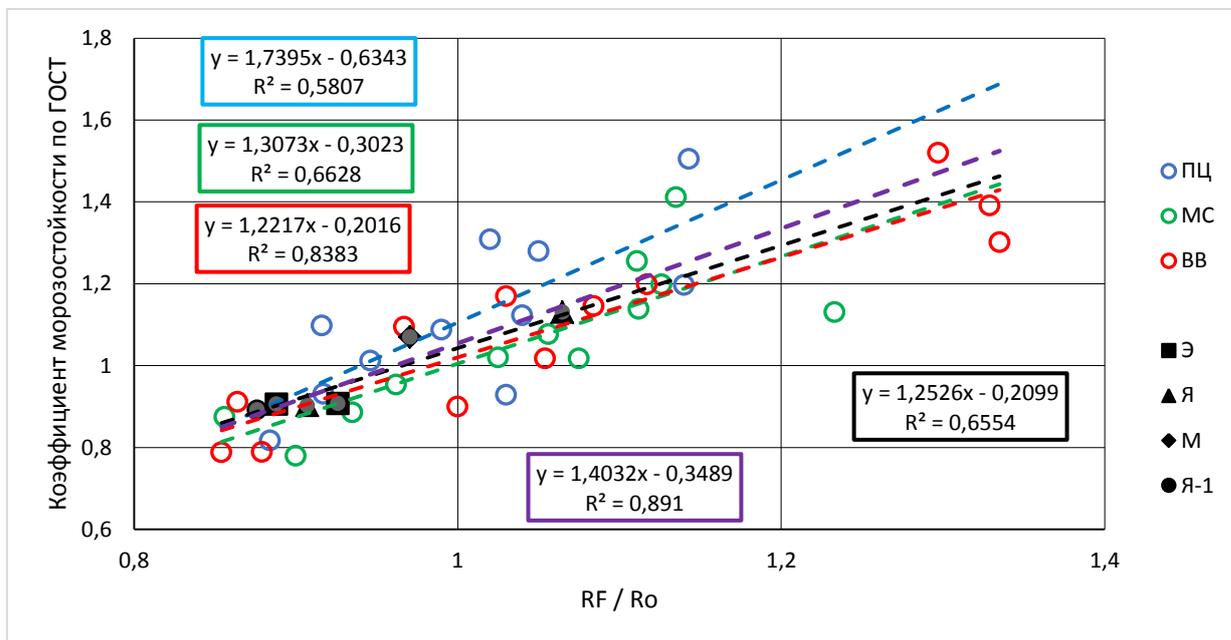


Рисунок 3 – Соотношение коэффициентов морозостойкости строительного раствора по ф.(2) и по ф.(ГОСТ 10060); ПЦ – раствор без НМВ, MC и ВВ – раствор с НМВ в виде зольной микросферы и вовлеченного воздуха; Я – Ярмолинская Н.И., Э – Эккель С.В., М – Мирский К.В., Я-1 – Ярмолинский В.А.

Таблица 2 – Функции соотношения коэффициентов морозостойкости с учетом и без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности

Составы	Функция	Величина $R^2$
Без НМВ	$K_{F,ГОСТ} = 1,7395 \cdot K_{F,R} - 0,6343$	0,58
MC	$K_{F,ГОСТ} = 1,3073 \cdot K_{F,R} - 0,3023$	0,66
ВВ	$K_{F,ГОСТ} = 1,2217 \cdot K_{F,R} - 0,2016$	0,84
Все исследованные составы	$K_{F,ГОСТ} = 1,2526 \cdot K_{F,R} - 0,2099$	0,66
По данным Ярмолинской Н.И., Эккеля С.В., Мирского К.В., Ярмолинского В.А.	$K_{F,ГОСТ} = 1,4032 \cdot K_{F,R} - 0,3489$	0,89
Все составы	$K_{F,ГОСТ} = 1,2565 \cdot K_{F,R} - 0,3489$	0,68
ВВ + «по данным Несветаева Г.В.»	$K_{F,ГОСТ} = 1,2041 \cdot K_{F,R} - 0,176$	0,85

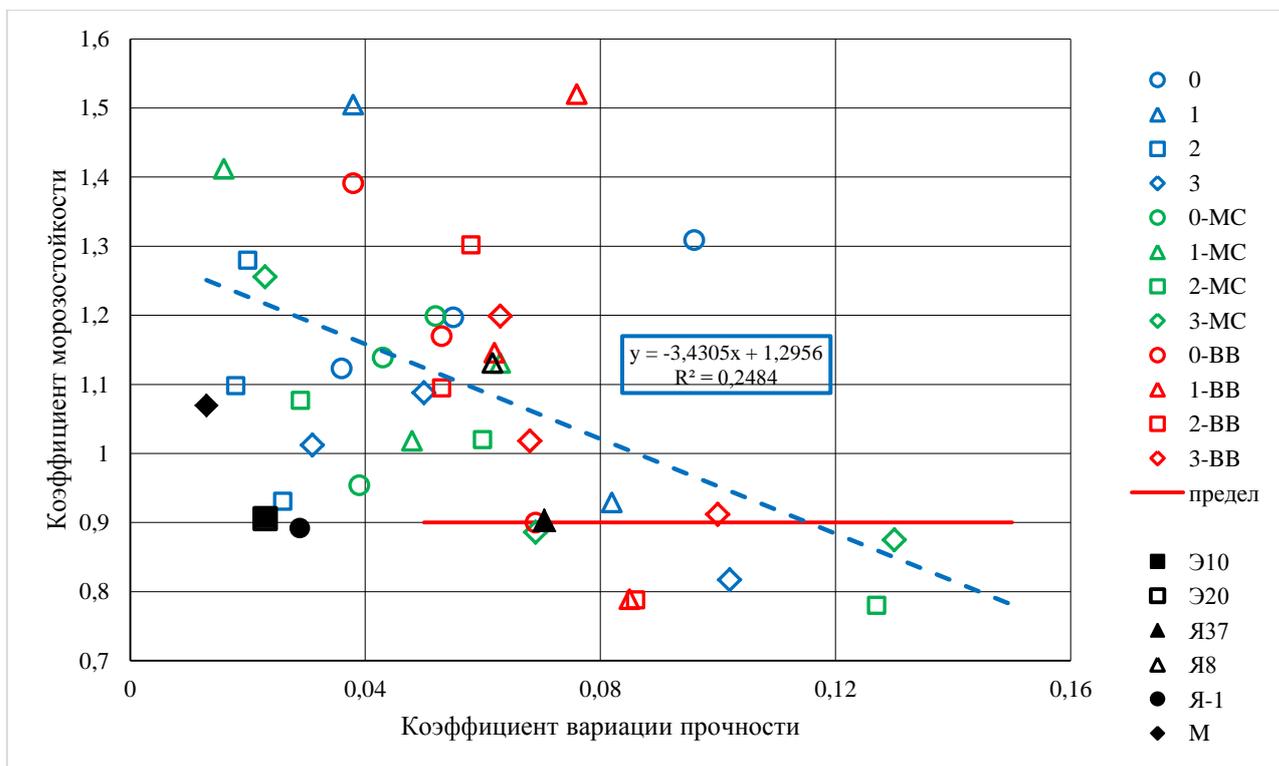


Рисунок 4 – Взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по ф.(2) и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности основных образцов, при различных комбинациях цемента, дозировки РПП и типа НМВ; 0,1,2,3 – дозировка РПП, %; МС, ВВ – тип НМВ; маркеры: синий – ПЦ-1, зеленый – ПЦ-2, красный – ПЦ-3; Я8, Я37– [Ярмолинская Н.И.], Э10, Э20– [Эккель С.В.], М– [Мирский К.В.], Я – [Ярмолинский В.А.]

**Пятая глава** посвящена изучению влияния различных факторов на прочность сцепления и морозостойкость контактной зоны затвердевшего строительного раствора. Для выявления влияния модификаторов на указанные показатели использовано понятие «дополнительная пористость»

$$P_d = \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_3}\right), \quad (3)$$

где  $\rho_i$  – средняя плотность состава, включающего НМВ и (или) РПП,  
 $\rho_3$  – средняя плотность состава, не включающего НМВ и РПП.

Влияние рецептурных факторов на прочность и морозостойкость полученного из ССС раствора, прочность сцепления и морозостойкость контактной зоны анализировалось в зависимости от дополнительной пористости. Представленные на рис. 5 данные показывают, что с ростом дополнительной пористости закономерно снижается прочность раствора на сжатие, при этом в составах с МС снижение происходит несколько медленнее в сравнении с составами, содержащими ВВ или без НМВ. В составах без НМВ зависимость между пределом прочности на сжатие и дополнительной пористостью практически совпадает с известной зависимостью прочности от пористости  $\frac{R_p}{R_0} = \exp(-4,84 \cdot P_d)$  [Несветаев Г.В.].

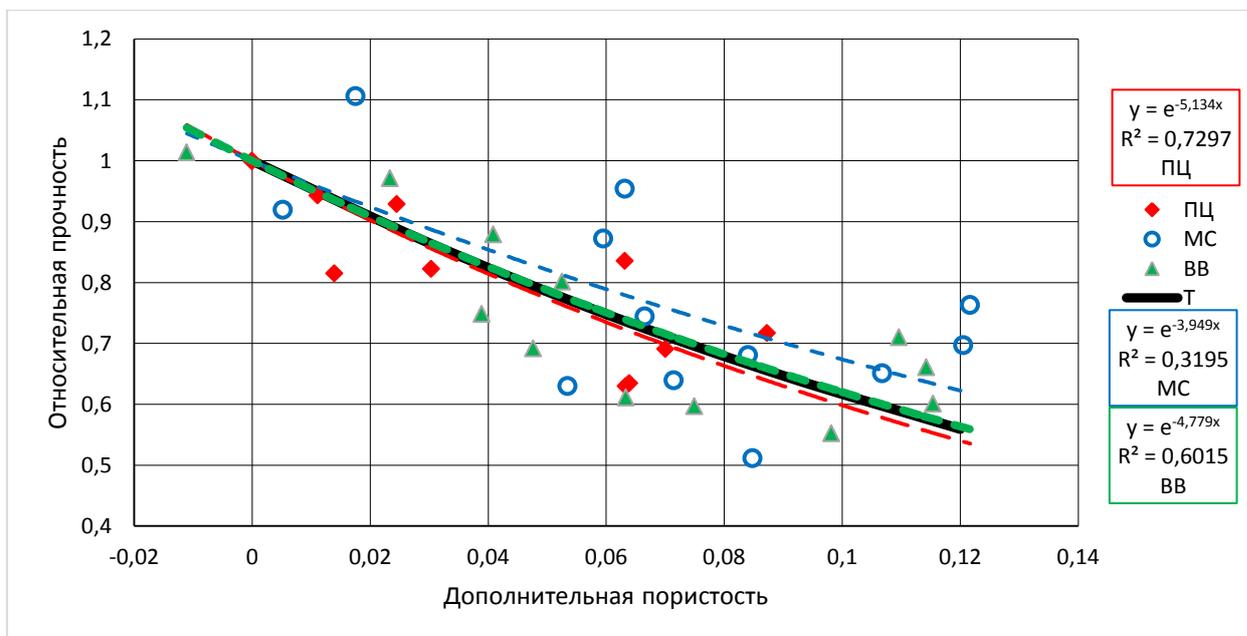


Рисунок 5 – Изменение предела прочности строительного раствора на сжатие при взаимосвязи с дополнительной пористостью после 28 суток твердения в НУ;  
Т – по данным Несветаев Г.В.

В рассматриваемом диапазоне предельное расхождение среднестатистических величин  $\frac{R_p}{R_0}$  не превышает 5%. В составах с ВВ зависимость полностью соответствует приведенной выше формуле. В составах с МС при повышении дополнительной пористости до 0,17 расхождение среднестатистических значений  $\frac{R_p}{R_0}$  достигает 16%.

После 75 циклов замораживания - оттаивания в составах без НМВ зависимость изменения прочности от дополнительной пористости также соответствует формуле  $\frac{R_p}{R_0} = \exp(-4,84 \cdot П_d)$ , в рассматриваемом диапазоне предельное расхождение среднестатистических величин  $\frac{R_p}{R_0}$  не превышает 9%. В составах с МС при повышении дополнительной пористости до 0,17 расхождение среднестатистических значений  $\frac{R_p}{R_0}$  достигает 25%. В составах с ВВ зависимость имеет качественное и численное различие. Для более полного анализа влияния дополнительной пористости на морозостойкость изучаемых модифицированных растворов введено понятие «организованный объем НМВ», численно равный разнице двух видов дополнительной пористости, полученных при включении в состав смеси НМВ совместно с РПП и только РПП. Представленная на рис. 6 зависимость свидетельствует о закономерном повышении коэффициента морозостойкости растворов с ростом организованного объема НМВ и может быть использована для обоснования требуемого организованного объема НМВ для обеспечения требуемого значения коэффициента морозостойкости.

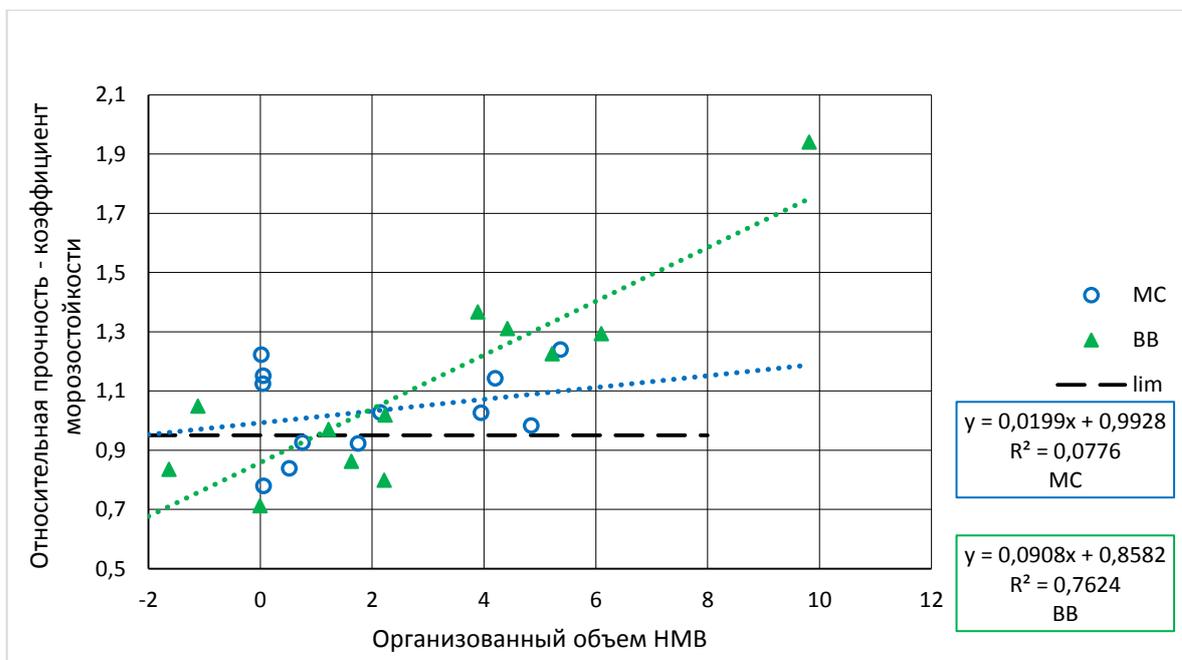


Рисунок 6 – Взаимосвязь между относительной прочностью строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания и организованным объемом НМВ;  $lim$  – допустимое по ГОСТ 10060 снижение предела прочности

В составах с ВВ на зависимость коэффициента морозостойкости от организованного объема НМВ другие факторы оказывают меньшее воздействие в сравнении с МС. Величина коэффициента морозостойкости после 75 циклов замораживания - оттаивания, вне зависимости от типа НМВ, при величине организованного объема НМВ более 2,5%, выше допустимого предела 0,95. Поскольку для растворов коэффициент морозостойкости по некоторым стандартам может составлять 0,75 или 0,8, очевидно, что значение организованного объема НМВ в этом случае может быть ниже, порядка 2%.

Изучения закономерности изменения прочности сцепления с бетонным основанием  $\frac{A_{s,F}}{A_{s,HY}}$  (где  $A_{s,F}$  – сцепление с основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания,  $A_{s,HY}$  – сцепление с основанием после 28 суток твердения в НУ) от дополнительной пористости (рис.7) и организованного объема НМВ (рис.8) показало, что коэффициент морозостойкости контактной зоны существенно зависит, помимо дополнительной пористости (рис. 7) и организованного объема НМВ (рис. 8), от других рецептурных факторов, при этом практически все исследованные растворы на базе 75 циклов замораживания-оттаивания показали значение коэффициента морозостойкости по критерию прочности сцепления с бетонным основанием не ниже требуемого значения 0,8.

Выявлено, среднестатистическая зависимость изменения сцепления с основанием от дополнительной пористости не обусловлена типом НМВ, но величина сцепления зависит от характера дополнительной пористости, от вида цемента и РПП, его дозировки.

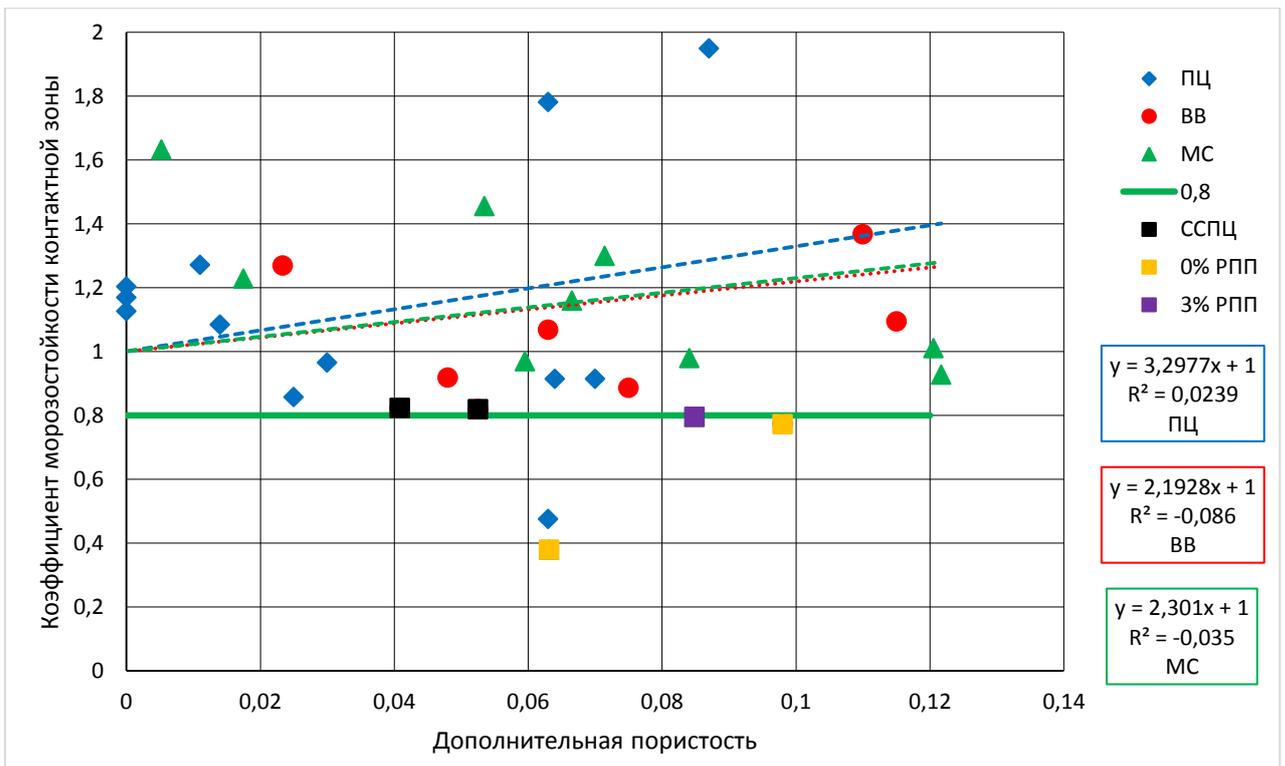


Рисунок 7 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью; 0,8 – критерий по ГОСТ 31356; ССПЦ – состав на сульфатостойком цементе; 0%, 3% РПП – дозировка РПП в смеси

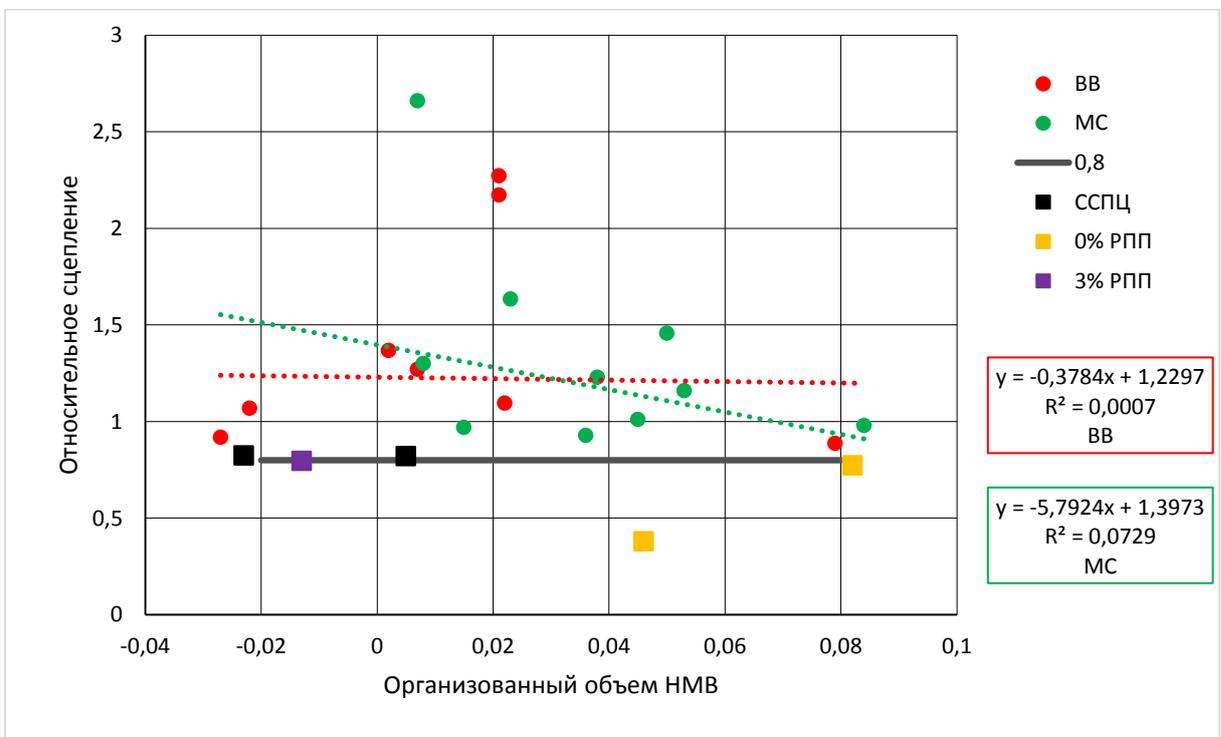


Рисунок 8 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания и организованным объемом НМВ; 0,8 – критерий по ГОСТ 31356; ССПЦ – состав на сульфатостойком цементе; 0%, 3% РПП – дозировка РПП в смеси

На основании полученных результатов рекомендуемая дозировка МС составляет от 4 до 7% по объему для получения требуемых значений морозостойкости контактной зоны, количество ВВ целесообразно принимать не ниже 4% в растворах с содержанием РПП от 1 до 2%. Более высокая дозировка РПП требует проверки морозостойкости контактной зоны в зависимости от вида применяемого РПП.

При оценке внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с бетонным основанием и зависимости коэффициента морозостойкости строительных растворов по критерию прочности сцепления от рецептурных факторов установлено, что в растворах с ВВ после 75 циклов замораживания-оттаивания наблюдается снижение средних значений внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с основанием, а в составах с МС отмечено некоторое увеличение, при этом средние значения внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с бетонным основанием от 0,19 до 0,286 существенно превышают средние значения коэффициента вариации предела прочности на сжатие от 0,055 до 0,095. Вероятно, на величину внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с бетонным основанием оказывает влияние не только и даже не столько изменение в структуре при замораживании-оттаивании, но и погрешности самой методики измерения прочности сцепления (обеспечение центрального осевого приложения усилия при отрыве), поскольку более высокие значения внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления в сравнении с прочностью на сжатие были получены как для основных, так и для контрольных образцов.

Значения коэффициентов морозостойкости по критерию прочности сцепления с бетонным основанием в соответствии с ГОСТ 31356 (без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления)  $k_{F,A}$  и с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления  $k_{F,v}$  определены по ф.(4) и представлены в табл.3.

$$k_{F,v} = \frac{A_{F,lim}}{A_{0,lim}} = \frac{A_F}{A_0} \cdot \frac{1-\beta \cdot t \cdot v_0}{1-\beta \cdot v_0} = k_{F,A} \cdot k_v > 0,8 \quad (4)$$

Таблица 3 – Среднее значение коэффициентов морозостойкости по всем составам

Коэффициент морозостойкости	Составы		
	ПЦ	ПЦ+МС	ПЦ+ВВ
$K_{F,A}$	1,143	1,207	1,58
$K_{F,v}$	1,595	3,861	6,289

Очевидно, что средние значения коэффициента морозостойкости по критерию прочности сцепления с бетонным основанием без учета и с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления выше допустимого значения по ГОСТ 31356, причем последние существенно превышают допустимые значения.

Представленная на рис. 9 зависимость коэффициента морозостойкости по критерию прочности сцепления  $k_{F,A}$  от изменения внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления после циклического замораживания-оттаивания  $t = \frac{V_{F,A}}{V_{28A}}$ , несмотря на существенное влияние других факторов, свидетельствует о наличии тенденции роста коэффициента морозостойкости при уменьшении величины  $\frac{V_{F,A}}{V_{28A}}$ . В связи, с этим, во - первых, для практических целей очевидно, что при  $\frac{V_{F,A}}{V_{28A}} < 1$  будет обеспечен коэффициент морозостойкости по критерию сцепления выше требуемого. Во-вторых, целесообразно провести исследования с целью выделения в значении изменения коэффициента вариации прочности сцепления двух составляющих, а именно, изменение вследствие изменения структуры раствора в результате циклического замораживания-оттаивания и составляющую, обусловленную методикой испытаний на прочность сцепления. Целесообразно рассмотреть вопрос об учете внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления при определении морозостойкости контактной зоны.

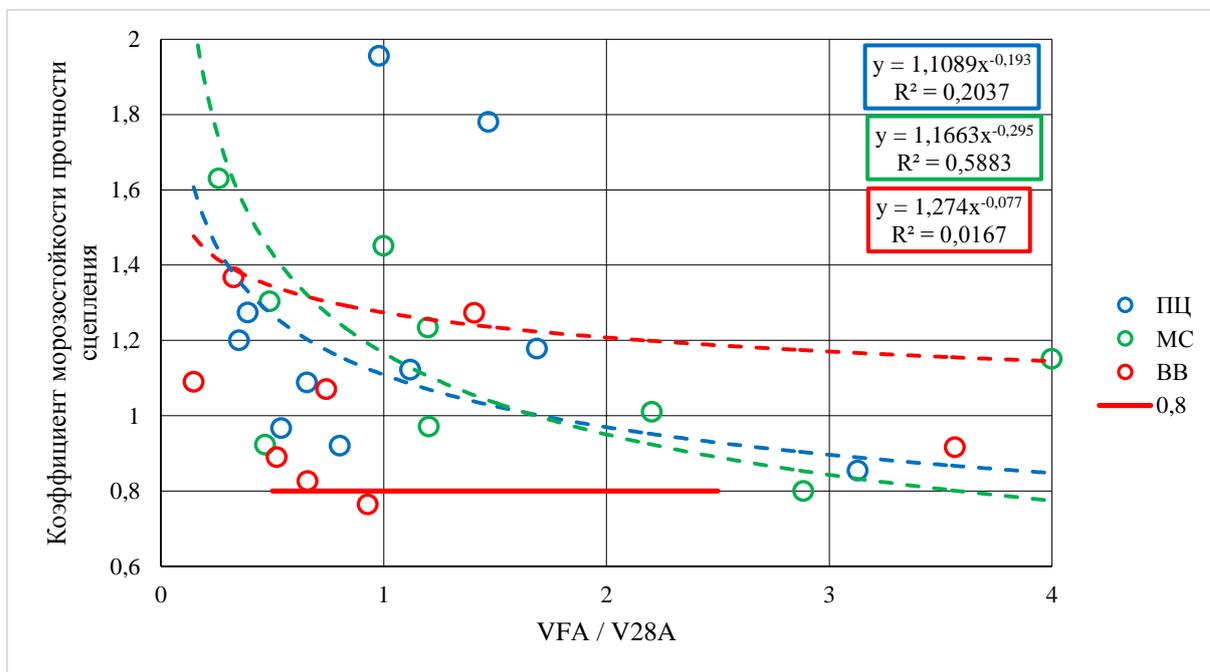


Рисунок 9 – Взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости по критерию прочности сцепления с бетонным основанием по ГОСТ 31356 (коэффициент морозостойкости контактной зоны) исследованных строительных растворов и изменением внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления после циклического замораживания-оттаивания; ПЦ – состав без НМВ, МС и ВВ – составы с НМВ; 0,8 – критерий по ГОСТ 31356

Представленные на рис. 10 данные о частоте значений коэффициентов вариации прочности сцепления и прочности на сжатие свидетельствуют о значительном расхождении значений коэффициентов вариации прочности сцепления и прочности на сжатие при разных условиях выдерживания.

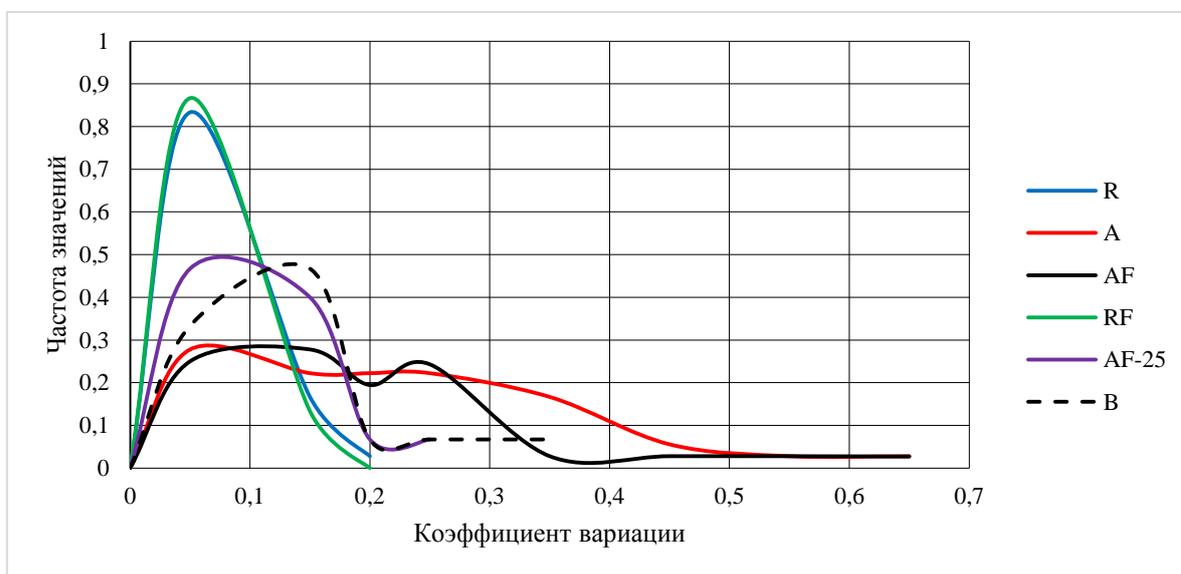


Рисунок 10 – Частота расположения значений коэффициентов вариации при выдерживании 28 суток в НУ: R – предела прочности на сжатие; A– прочности сцепления; B – прочности сцепления по данным Бычковой О.А.; после 75 циклов замораживания-оттаивания: RF, AF; после 25 циклов замораживания-оттаивания - AF-25

Значения коэффициента вариации прочности сцепления могут до 3 раз превышать значения коэффициента вариации прочности на сжатие. Аналогичный результат получен в исследованиях Бычковой О.А. После 25 циклов замораживания-оттаивания наблюдается понижение коэффициента вариации прочности сцепления, что свидетельствует о происходящих в структуре конструктивных процессах. После 75 циклов отмечается повышение коэффициента вариации прочности сцепления до значений, близких к значениям у контрольных образцов после 28 выдерживания в нормальных условиях. Вероятно, после 25 циклов начинают проявляться деструктивные процессы, но к 75 циклам структура раствора остается практически неизменной. Это подтверждают и данные о практически отсутствующем изменении коэффициента вариации прочности на сжатие. Очевидно существенное влияние методики испытаний, поскольку при определении прочности сцепления на результаты измерений влияет работа шарнира в приборах, т.е. «центральность» отрыва. Методика определения предела прочности сцепления нуждается в совершенствовании как с технической стороны, так и в вопросе обработки результатов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Развита научная картина представлений об инвариантности к рецептурным факторам и условиям твердения зависимости между начальным модулем упругости и пределом прочности на сжатие строительных растворов, полученных из ССС на цементном вяжущем. Выявлены основные закономерности влияния и получены количественные зависимости строительно-технических свойств растворов, полученных из ССС на цементном вяжущем, после 28 суток твердения в НУ и после 75 циклов замораживания-оттаивания от дозировки РПП, в т.ч. при введении совместно с различными типами НМВ.

2. После 28 суток твердения в НУ с увеличением дозировки РПП от 0 до 3% от массы сухой смеси фиксируется снижение предела прочности на растяжение при изгибе до 15%, снижение начального модуля упругости до 26%, повышение прочности сцепления с бетонным основанием до 37%. НМВ при совместном введении с РПП приводит к дополнительному снижению предела прочности на изгиб до 25%, снижению начального модуля упругости до 40%, повышению прочности сцепления с бетонным основанием до 49%.

3. Выявлена тенденция к снижению до 21% с повышением дозировки РПП до 3%, в т.ч. при совместном введении с НМВ, величины предложенного в работе показателя условного относительного уровня напряжений  $u(\sigma)$ , что предопределяет повышение и обеспечение сохранности прочности сцепления строительного раствора с бетонным основанием при циклических температурных воздействиях.

4. В растворах с РПП при совместном введении с НМВ после 75 циклов замораживания-оттаивания повышается предел прочности при изгибе, повышение прочности сцепления с бетонным основанием достигает 62%. В растворах только с РПП, а также в растворах без модификаторов, после 75 циклов замораживания-оттаивания возможно снижение предела прочности на растяжение при изгибе до 23%, снижение начального модуля упругости до 32%. Повышение прочности сцепления с бетонным основанием в растворах с РПП составляет до 49%.

5. Выявлено некоторое снижение внутрисерийного коэффициента вариации предела прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания по сравнению со значениями после 28 суток твердения в НУ, что показывает на преобладание конструктивных процессов в структуре раствора. Снижение внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с бетонным основанием после циклического замораживания-оттаивания более выражено и в большей степени характерно для ВВ. Средние значения внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с основанием составили от 0,19 до 0,286, что существенно выше средних значений внутрисерийного коэффициента вариации предела прочности на сжатие от 0,055 до 0,095.

6. Получена зависимость коэффициента морозостойкости строительных растворов по критерию предела прочности на сжатие с учетом изменения внутрисерийного коэффициента вариации прочности и произведено сравнение численных значений коэффициентов морозостойкости на базе 75 циклов без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности (предыдущая редакция ГОСТ 10060) и с учетом внутрисериного коэффициента вариации (ГОСТ 10060-2012), которые составили в среднем («без учета» / «с учетом») в растворах без НМВ1,012 / 1,185, в растворах с МС1,044 / 1,062, в растворах с ВВ 1,068 / 1,103.

7. Впервые получена зависимость коэффициента морозостойкости растворов по критерию прочности сцепления с бетонным основанием с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления и произведено сравнения значений коэффициентов морозостойкости на базе 75 циклов, определенных по ГОСТ 31356 и с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления, которые составили в среднем («без учета» / «с учетом») в растворах без НМВ 1,143 / 1,595, в растворах с МС 1,207 / 3,861, в растворах с ВВ 1,58 / 6,289. Сформулировано предложение о целесообразности рассмотрения вопроса об учете внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления при определении морозостойкости контактной зоны.

8. Откорректированы (разработаны) рецептуры при производстве на предприятии ООО «Инсула» (Ростовская область) клеевых и штукатурных ССС с рациональными дозировками НМВ и РПП. Экономический эффект в результате корректировки рецептур составил до 1780 руб/т ССС.

**Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы.** Требуется продолжения исследований оценка целесообразности применения сульфатостойкого портландцемента для обеспечения морозостойкости контактной зоны ССС, в т.ч. клеевых, совершенствование методики определения прочности сцепления с основанием и оценки морозостойкости контактной зоны.

**Основные положения и результаты научной работы изложены в следующих публикациях:**

- статьи, входящие в международную реферативную базу данных и систем цитирования Scopus:

1. Dolgova, A.V. Effect of dosage of redispersible powders on the properties of fine concrete / G.V. Nesvetaev, A.V. Dolgova, L.V. Postoj, M.N. Grigoryan, B.M. Yazyev // Materials Science Forum. Switzerland. – 2019. – Vol. 974. – Pp. 413 – 418;

Долгова, А.В. Влияние дозировки редуспергируемых порошков на свойства мелкозернистого бетона / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова, Л.В. Постой, М.Н. Григорян, Б.М. Язуев // Форум по материаловедению. Швейцария. – 2019. – Т. 974. – С. 413 – 418;

2. Dolgova, A.V. About frost resistance of the contact zone of dry adhesive mixes classes C1 and C2 [Electronic resource] / G.V. Nesvetaev, A.V. Dolgova, A. A. Revyakin // E3S Web of Conferences. – 2020. – Vol.157, id.06027. – Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706027>;

Долгова, А.В. О морозостойкости контактной зоны сухих клеевых смесей классов C1 и C2 [Электронный ресурс] / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова, А.А. Ревякин // E3S Сеть

конференций. 2020. – Т.157, ин.06027. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015706027>;

**- статьи в изданиях из перечня ВАК России:**

3. Долгова, А.В. Влияние дозировки редуспергируемых порошков и типа низкомодульных включений на свойства мелкозернистого бетона / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. - №46(2). – С. 167-175. DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-2-167-175;

4. Долгова, А.В. Влияние дозировки редуспергируемых порошков на свойства мелкозернистого бетона после многократного замораживания-оттаивания [Электронный ресурс] / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №5. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5977>;

5. Долгова, А.В. Влияние редуспергируемых порошков и низкомодульных включений на свойства мелкозернистого бетона после многократного замораживания-оттаивания [Электронный ресурс] / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №6. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n6y2019/6029>;

6. Долгова, А.В. О влиянии пористости мелкозернистых бетонов и растворов, полученных из сухих строительных смесей, на морозостойкость контактной зоны / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова, Г.Н. Хаджишалапов, М.М. Батдалов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. - №46(3). – С. 139-148. DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-3-139-148;

7. Долгова, А.В. К вопросу оценки морозостойкости бетонов по критерию прочности [Электронный ресурс] / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова, Л.В. Постой // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №7. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2019/6106>;

8. Долгова, А.В. Зависимость морозостойкости модифицированных полимерами мелкозернистых бетонов от соотношения условно-закрытой и открытой капиллярной пористости [Электронный ресурс] / А.В. Долгова // Инженерный вестник Дона. – 2019. – №9. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n9y2019/6183>;

9. Долгова, А.В. О влиянии редуспергируемых порошков и низкомодульных включений на морозостойкость контактной зоны мелкозернистых бетонов / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова, Л.В. Постой, Г.Н. Хаджишалапов // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2019. - №46(4). – С. 186-196. DOI: 10.21822/2073-6185-2019-46-4-186-196;

**- статьи, опубликованные в других научных журналах и изданиях:**

10. Долгова, А.В. Исследование свойств мелкозернистого бетона с добавками редуспергируемых порошков / А.В. Долгова // Вестник научных конференций (30 сентября 2019 г.) Наука, образование, общество. г. Тамбов. – 2019. - №9-2(49). – С.52 – 54;

11. Долгова, А.В. Исследование свойств мелкозернистого бетона с добавками редуспергируемых порошков и низкомодульных включений / А.В. Долгова // Инновационные технологии в строительстве и управление техническим состоянием инфраструктуры: сборник научных трудов. - Ростов н/Д: РГУПС, 2019. – Т.1. – С. 49-54;

12. Долгова, А.В. Исследование морозостойкости мелкозернистого бетона с добавками редуспергируемых порошков / А.В. Долгова // Транспорт: наука, образование, производство: сборник научных трудов. – Ростов н/Д: РГУПС. – 2020. – Т.2 – С.252-256.