

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ростовский государственный университет путей сообщения»**

*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

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Научный руководитель:  
доктор технических наук,  
профессор Г.В. Несветаев

Ростов-на-Дону  
2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	4
<b>ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ</b>	9
1.1 Направления исследований свойств сухих строительных смесей	9
1.2 Исследование морозостойкости и адгезии сухих строительных смесей	16
1.3 Роль редиспергируемых полимерных порошков и эфиров целлюлозы в сухих строительных смесях	23
1.4 Исследования совместной работы полимерцементного раствора с бетонным основанием	30
1.5 Цели и задачи исследования	34
<b>ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	36
2.1 Материалы	36
2.1.1 Цементы	36
2.1.2 Добавки	38
2.2 Методика проведения испытаний	45
2.2.1 Определение механических свойств строительного раствора на основе сухих строительных смесей	45
2.2.2 Определение прочности сцепления с бетонным основанием	46
2.2.3 Определение морозостойкости строительного раствора и морозостойкости контактной зоны	48
2.2.4 Определение гидрофизических свойств и показателей пористости строительного раствора	50
<b>ГЛАВА 3. ПРИНЦИПЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕДИСПЕРГИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВ И НИЗКОМОДУЛЬНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ</b>	52
3.1 Воздействие редиспергируемых порошков различной дозировки на свойства строительного раствора	52
3.2 Воздействие редиспергируемых порошков различной дозировки и типа низкомолекулярных включений на свойства строительного раствора	59
3.3 Воздействие редиспергируемых порошков различной дозировки на свойства строительного раствора после многократного замораживания-оттаивания	67
3.4 Воздействие редиспергируемых порошков и низкомолекулярных включений на свойства строительного раствора после многократного замораживания-оттаивания	75

Выводы по главе 3	86
<b>ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОРОЗОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ</b>	<b>88</b>
4.1 Влияние показателей пористости на морозостойкость строительного раствора	88
4.2 Взаимосвязь между критериями прочности и морозостойкостью строительных растворов	97
Выводы по главе 4	112
<b>ГЛАВА 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ ЗАТВЕРДЕВШЕГО СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА</b>	<b>114</b>
5.1 Воздействие пористости затвердевшего строительного раствора на морозостойкость контактной зоны	114
5.2 Воздействие редуспергируемых порошков и низкомолекулярных включений на морозостойкость контактной зоны затвердевшего строительного раствора	127
Выводы по главе 5	143
<b>ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ</b>	<b>145</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ</b>	<b>148</b>
Приложение 1. Акт внедрения	163
Приложение 2. Сводные результаты испытаний	164

## ВВЕДЕНИЕ

**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 СССР клеевые смеси на цементном вяжущем составляют более трети всего объема. Для получения надежного и долговечного покрытия на основе СССР необходимо обеспечить в т.ч. прочность сцепления с основанием в течение всего периода эксплуатации. Для получения требуемых строительно-технических свойств СССР, в т.ч. клеевых на цементном вяжущем, в их состав вводят модификаторы на основе полимеров, в т.ч. ретардированные 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 СССР, 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.

## ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1 Направления исследований свойств сухих строительных смесей (состояние вопроса)

Сухие строительные смеси получили широкое применение в современном строительстве в качестве: отделочных материалов (клеевых, штукатурных, шпатлевочных, затирочных смесей), самовыравнивающихся полов, ремонтных смесей, гидроизоляционных и других. Работы по усовершенствованию состава и свойств сухих смесей являются перспективным направлением в строительном производстве. Основные направления исследований связаны: с управлением процессами структурообразования, получением смесей с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами, подбором сырья по функциональному назначению смеси, оптимизацией состава смеси и другими.

Исследования в этой области проводят ученые Безбородов В.А., Дергунов С.А., Загороднюк Л.Х., Козлов В.В., Кудяков А.И., Лесовик В.С., Логанина В.И., [12, 46, 55, 72, 79, 84, 88, 97, 98]. Работы ведутся по следующим направлениям: модифицирование сухих смесей, путем введения комплексных модифицирующих добавок; введение в состав смеси различных наполнителей и заполнителей; армирование волокнами; использование в составе местного сырья и техногенных продуктов; механоактивация компонентов смеси. Рассмотрим способы модифицирования и их влияние на свойства смесей.

Разрабатываются сухие смеси с различными модифицирующими добавками. Например, сухая строительная смесь на основе аморфных алюмосиликатов [53]. Модифицирующая добавка получена путем совместного перемешивания жидкого стекла и сульфата алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  в количестве 6,21% от массы смеси. Она предлагается автором в качестве отечественного аналога импортных добавок (эфиров целлюлозы). Данная добавка способствует раннему структурообразованию, ускоряет сроки схватывания до 40 мин, обладает влагоудерживающей способностью [89,91-93]. Для регулирования

реологических свойств, в рецептуру была введена добавка «Кратасол-ПФМ» - 1% от массы цемента [90]. В результате чего наблюдается снижение пористости.

По результатам определения максимальных растягивающих напряжений в зоне контактного клеевого слоя на границе с основанием (керамзитобетоном, керамической плиткой) сделан вывод, что данный клеевой слой является трещиностойким [95].

В работах [58,77] предлагается вводить в состав смеси наноуглеродные микродобавки. Наиболее известными наноуглеродными материалами являются: фуллерены, тубулены (нанотрубки), графен, фуллериты, аморфный углерод. Эффективным технологическим приемом, повышающим прочность растворов, является магнитная обработка, механоактивация наноуглеродных добавок [58, 77]. Введение наномодификаторов приводит к снижению вязкости цементного теста в 1,4-1,7 раза, сокращению расхода воды, необходимого для затворения растворов, что повышает прочность на сжатие. Оптимальное содержание наноуглеродных микродобавок в составе ССС – 0,005% по весу.

В работах [145,146] рассматривается комплексная добавка на основе полимерного остатка производства скипидара ПО и золы-уноса в соотношении по массе ЗУ:ПО-1,15:1. В состав добавки входит суперпластификатор С-3 и ускоритель твердения формиат кальция. Добавка вводится в количестве 2,5-5% от массы цемента. Полученная смесь обладает: повышенными показателями водонепроницаемости, снижает водопоглощение на 50-55%, повышает морозостойкость затвердевших штукатурных растворов. Для улучшения адгезии штукатурного слоя автором предлагается предварительное грунтование кирпича цементным молоком и введение кирпичной крошки в ССС в количестве 5-15%.

Разработан комплексный органо-минеральный модификатор для строительного раствора на основе ССС [151]. Полиминеральный модификатор (в количестве 15% от смеси) состоит: метаморфогенный кварц, кальцит, шлак, суперпластификатор. Данная добавка способствует: снижению капиллярной (на 20%) и росту гелевой пористости, упрочнению строительного раствора и

повышению адгезии к основанию на 30-50%, росту морозостойкости до 75 циклов.

В [20] разработана ССС с улучшенными теплозащитными свойствами. В составе смеси используется комплексная добавка (СЗ,  $MgSO_4$  и крахмал 2% от массы цемента), которая повышает трещиностойкость, адгезионную прочность и снижения В/Ц. В качестве теплозащитных добавок выбраны  $Al(OH)_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ , тальк 10% от массы цемента, раствор кремне-золя 5%. Заполнителем выбран молотый газобетон. По результатам исследований теплопроводность смесей уменьшается в 2-3 раза по сравнению с цементно-песчаными.

Для придания ССС грибостойких и фунгицидных свойств, предлагается ее модификация биоцидной добавкой (натрий сернокислый 2,5-5%) [52]. Для повышения физико-механических свойств раствора, в нее вводились модификаторы: поверхностно-активная добавка Esaron 1850 и редисперсный порошок Neolith 8800.

Актуальным вопросом при производстве сухих строительных смесей является снижение их себестоимости, для этих целей разрабатываются смеси с модифицирующими добавками отечественного производства, которые намного дешевле иностранных аналогов.

Разработан модификатор цементных плиточных клеев «МетаМикс-1» (модифицированный метакаолин) [106]. По результатам испытаний адгезия в 7 и 28 суток, при введении в рецептуру 1,5% модификатора «МетаМикс-1» без РПП выше, чем адгезия с 1,5% РПП и без «МетаМикса». Опытный завод сухих смесей (АООТ «ОЗСС») разработал клеевую смесь Мраморит, имеющую высокие технические характеристики [147]. В работе [81] рассмотрено создание сухой комплексной механоактивированной добавки (премикса). В состав добавки входит суперпластификатор С-3 в смеси с уплотняющими и противоморозными добавками – электролитами. Данный способ позволяет снизить водопотребность цемента до 30%.

В работах Кудякова А.И., Зиновьева А.А. [64], [78] предлагается, с целью повышения прочности сцепления штукатурных растворов, введение в смесь тонкодисперсной минеральной добавки микрокремнезема (МК) в количестве 5-10% от массы цемента. По результатам исследований, увеличение прочности сцепления штукатурного раствора составляет 18-55% в сравнении с контрольными образцами.

Для регулирования структурообразования и улучшения физико-механических свойств сухих строительных смесей в их состав вводят различные наполнители и заполнители. В качестве заполнителей в ССС используются: молотый газобетон [20], гранулированное пеностекло [152], тонкодисперсный порошок на основе гидросиликатов кальция [94] и др.

Разработаны гидрофобные ССС с наполнителями – дисперсными минеральными порошками (песок и известняк) в количестве 12% [119]. В качестве гидрофобной добавки применялись порошковые ПАВ на основе солей жирных кислот (стеараты и олеат натрия), с оптимальной дозировкой 0,25% ПАВ от массы вяжущего. Введение наполнителей снижает средний размер капиллярных пор и способствует их однородности.

В работе [137] рассматривается модифицирование ССС с прогнозируемой трещиностойкостью. Автором предлагается вводить в состав смеси вещества, наиболее эффективно снижающих степень трещинообразования: оксиды d-металлов, фториды, микронаполнители, создающие пористую «демпфирующую» структуру цементного камня. В состав вводились добавки: доломит, гранит и пластификатор С-3.

В работе [5] в качестве сырья исследовались на паропроницаемость сухие строительные смеси с фторгицидным сырьем. В результате использования в качестве добавок кирпичной пыли и пигментов, ее значения паропроницаемости соответствуют величине паропроницаемости керамического кирпича.

В работе [140] используется в качестве: заполнителей – мраморная крошка фракций: 5-7, 2-5, 1-2, 1-0,2 мм, наполнителей – мраморная и доломитовая мука, с дисперсностью 1- 192 мкм и удельной поверхностью более 1500 см<sup>2</sup>/см<sup>3</sup>.

Высокая дисперсность минеральных наполнителей придает смесям хорошую водоудерживающую способность и повышенную пластичность.

В работе [45] исследуется адгезионная прочность строительных растворов, содержащих в качестве наполнителя гранитную каменную муку. Определено, что увеличение дисперсности каменной муки, при удельной поверхности  $390 \text{ м}^2/\text{кг}$ , увеличивает прочность сцепления раствора с основанием в возрасте 28 суток – на 15-20% при  $H/C=0,35-0,4$ . В состав смеси также вводились: суперпластификатор СП-3, полимерная добавка Tylose от 0-0,15%, что привело к росту адгезии на 25-55%.

В работе [15] для повышения адгезии в состав смеси вводился мелкозернистый керамический материал (кирпичная крошка -К) – 5%, также поверхность кирпичной кладки грунтовалась цементным молоком. В качестве микронаполнителя в состав смеси также вводились черные сланцы ЧС – 10%.

Следующий способ модификации смесей – ввод в их состав местного сырья и техногенных продуктов. В состав смесей могут входить: пески из отвала карьеров, отходы камнедробления, глина, суглинки, супеси, торф, золошлаковые смеси, зола-унос ТЭЦ [36], подмыленный щелок (отход мыловаренного производства) [2] и др.

В работах Загороднюк Л.Х. приведены результаты исследований по использованию: отходов железорудных горнообогатительных комбинатов (в дозировке 30%) в производстве сухих строительных смесей для самовыравнивающихся полов [54], отходов производства вспученного перлита (перлитовой пыли) для сухих теплоизоляционных смесей [56]. Прочность композиций с отходами железорудных горнообогатительных комбинатов превышает прочность бездобавочного цемента на 64%. В составах с отходами производства вспученного перлита образуется микроармированный состав, повышающий адгезию к основанию на 30-50% и росту морозостойкости.

Создана сухая строительная смесь с использованием торфа – 0,5% от массы цемента [39]. Добавка увеличивает прочность цементного камня на 36% в ранние сроки твердения и на 43% на 28 сутки. Снижение водопоглощения происходит

на 32,5%, увеличивается прочность сцепления с основанием до 40% и морозостойкость затвердевшего раствора.

В работе [43] рассматриваются поризованные растворы с использованием в качестве добавок золосодержащих вяжущих с низкой водопотребностью (ВНВ). Данные вяжущие включают в себя цемент с золой-уносом и полифункциональным модификатором (ПФМ). Данный модификатор состоит из интенсификатора помола пропиленгликоля и суперпластификатора SikaVC125. Также в состав смеси входила воздухововлекающая добавка – пенообразователь UFAPORE CC85 в количестве 0,04-0,11%. По результатам исследований прочность растворов составила 15-20 МПа при средней плотности 1200-1400 кг/м<sup>3</sup>.

В работе [148] предлагается замена части цементного вяжущего в ССС попутным продуктом промышленности (железистым кеком цветных металлов, образующимся как попутный продукт основного производства – аффинажа платиновых металлов). Компоненты смеси находятся в пропорции цемента к кеку – 90 к 10%. Происходит снижение плотности штукатурных растворов на 50-190 кг/м<sup>3</sup>, что положительно влияет на теплофизические характеристики штукатурных растворов.

В работе [51] используется в качестве минерального заполнителя для изготовления сухих строительных смесей для выполнения штукатурных и кладочных работ цеолитсодержащие породы Сахатинского месторождения. Данный заполнитель увеличивает: прочность на сжатие в 1,5 раза, на изгиб – в 2,5 раза, прочность сцепления строительных растворов.

В работе [73] используется в качестве нанодисперсного наполнителя в цементной композиции карбонатный шлам ТЭС в количестве 5-7%. Адгезионная прочность раствора с добавкой возрастает в 1,5 раза (на 28 сутки твердения) и в 5 раз (после 9 месяцев твердения).

Следующий способ модификации смесей – армирование волокнами. В качестве армирующих материалов используются: базальтовая, металлическая

фибра [82], полипропиленовая фибра [82, 128], полимерные волокна «ВСМ» [127], стеклотканевая сетка [131] и др.

В работе [13] исследуется ССС для каменных и монтажных работ с добавками: армирующими дисперсными техногенными волокнистыми (отходами асбестоцементной промышленности) до 10-15% и полимерными добавками (дегидрол 1-3%, редиспергируемый сополимер винилацетата и этилена (ВАЭ) 0,15-0,35% от массы цемента). Волокна обеспечивают дисперсное армирование структуры затвердевших строительных растворов, повышают прочность при изгибе, уменьшают теплопроводность, сближают значения коэффициентов температурного расширения раствора с показателями основания. Введение полимерных добавок повышает адгезию, водостойкость и морозостойкость затвердевшего строительного раствора.

В работе [65] в качестве армирующих добавок в сухих отделочных смесях используются полипропиленовые и базальтовые волокна – 3%. В состав смеси входят суперпластификаторы Melflux 6141F – 0,3% и Полипласт СП-1. Разработанные составы позволяют снизить расход цемента, увеличив предел прочности при сжатии и изгибе.

В работах [124,125] в качестве армирующих волокнистых техногенных дисперсных добавок рассматриваются отходы асбестоцементного производства (ОАЦП) в количестве 10-15%. Полимерными компонентами в системе являются: редиспергируемый порошок сополимер винилацетата и этилена (ВАЭ – аквапас №2028) 0,15-0,35% от массы цемента и гидроизоляционная композиция дегидрол 2-3%. По результатам исследований адгезия к основанию увеличивается в 1,5-2,5 раза, снижается усадка в 1,6-1,8 раза, повышается водо- и морозостойкость до 150 циклов материала. Полученный раствор обладает повышенной трещиностойкостью за счет выравнивания коэффициентов линейного температурного расширения с параметрами стеновых материалов.

Для управления процессом структурообразования в штукатурные цементные растворы вводят базальтовую микрофибру (1% от массы цемента), модифицированную углеродными наночастицами [14]. Для улучшения

удобоукладываемости применен суперпластификатор «Штайнберг GROS-63МС». По полученным результатам: предел прочности при изгибе увеличился до 48,5%, предел прочности при сжатии до 5%, уменьшились усадочные деформации.

Для получения наномодифицированных ССС используется способ механоактивации компонентов смеси [77, 82]. При введении наномодификаторов снижается вязкость цементного теста, сокращается расхода воды, необходимый для затворения растворов, что повышает прочность на сжатие.

Для получения гидроизоляционных смесей разработаны составы сухих смесей первичной гидроизоляции (АЛИТ СБВ-11), для герметизации швов (АЛИТ ГРР-1) [17], проникающей гидроизоляция «Акваторн-6» [143]. Основные преимущества гидроизоляций на основе сухих смесей по сравнению с аналогами: высокая прочность сцепления и паронепроницаемость, совместимость с различными материалами.

Для напольных смесей важным критерием является стойкость к трещинообразованию и низкая усадка. Предлагается способ для снижения деформаций – введение в вяжущее (портландцемент 78%) глиноземистого цемента 0,5% и гипса 21,5% [74]. Для самовыравнивающихся полов предлагается использовать композиционное вяжущее из кремнеземистого компонента с пластифицирующей добавкой [19].

Обзор основных направлений исследований приводит к заключению о широком использовании в составах строительных смесей модифицирующих добавок полифункционального назначения. Модифицирующие добавки, хотя имеют минимальную дозировку в смеси, оказывают значительное влияние на структуру и свойства раствора.

## **1.2 Исследование морозостойкости и адгезии сухих строительных смесей**

Целью наших исследований является улучшение технических характеристик строительных растворов различного назначения из сухих

строительных смесей на цементном вяжущем. Рассмотрим требования, предъявляемые к клеевым сухим строительным смесям по ГОСТ Р 56387-2015. Смеси классифицируются:

C0 – применяемые для кладки плитки с нормальным водопоглощением (не менее 5% по массе) только для выполнения внутренних работ;

C1 – применяемые для выполнения внутренних и наружных работ и соответствующие минимальным нормируемым требованиям;

C2 – применяемые для выполнения внутренних и наружных работ и соответствующие повышенным требованиям.

Согласно данному ГОСТ, прочность клеевого соединения (адгезия), при выдержке в разных условиях, должна быть для смесей C0 и C1  $\geq 0,5$  МПа, C2  $\geq 1,0$  МПа.

В соответствии с ГОСТ 31356-2007 основными показателями качества затвердевшего раствора (бетона) являются:

- прочность при сжатии,
- морозостойкость,
- морозостойкость контактной зоны,
- прочность сцепления с основанием.

Согласно ГОСТ 31357-2007 приняты марки по морозостойкости для затвердевших растворов: F15, F25, F35, F50, F75, F100, F150, F200, F300, F400.

Затвердевшие растворы должны иметь следующие марки по морозостойкости контактной зоны:  $F_{кз}25$ ,  $F_{кз}35$ ,  $F_{кз}50$ ,  $F_{кз}75$ ,  $F_{кз}100$ . Морозостойкость контактной зоны определяют по изменению прочности сцепления (адгезии) затвердевших растворов с основанием после установленного для данной марки числа циклов переменного замораживания и оттаивания по режиму, приведенному в ГОСТ 10060-2012.

Следовательно, основными свойствами, характеризующими качество клеевых сухих строительных смесей, являются прочность сцепления с основанием (адгезия) и морозостойкость.

Основными приемами повышения морозостойкости являются:

- применение воздухововлекающих добавок;
- снижение капиллярной пористости;
- уплотнение структуры материала тонкодисперсными компонентами [79].

Первостепенное значение для повышения морозостойкости цементных материалов имеет их пористость, размер пор, их количество, характер распределения в объеме [129].

Рассмотрим, какие работы проведены по исследованию морозостойкости и адгезии сухих строительных смесей.

Основные положения адгезии цементных составов были заложены еще в середине прошлого века в работах зарубежных ученых Дебройна Н., Гувинка Р. [1]. Авторы пришли к заключению о зависимости прочности цементных составов от водоцементного отношения, пористости и модуля упругости.

Методики определения морозостойкости и адгезии растворов описаны в работе Козлова В.В. [72]. Прочность нормального сцепления цементных растворов в каменной кладке рассмотрена в работе [47]. Определено, что сопротивление раствора растяжению ниже прочности его сцепления.

Одним из способов, повышающим адгезионные и когезионные свойства строительных смесей, является активация их жидкой фазы [59]. Используются методы: электрохимической активации воды ЭХА, магнитная обработка водно-дисперсных систем. Применение омагниченной воды при затворении цементного теста приводит к увеличению прочности на 20-27% на 28 сутки твердения.

Для определения адгезии и морозостойкости изучались растворы с различными добавками: полимерными композициями (полимерами, содержащими гидроксильные, карбоксильные группы, синтетические клеи на основе эпоксидов) [104], мылонафтом (МН) и синтетическими жирными кислотами (СЖК) [139], модифицированным коллоидным цементным клеем МКЦ [129], раствором с микрокремнеземом МК и омыленным талловым пеком [64, 78], микрогранулированной воздухововлекающей добавкой на основе сырого сульфатного мыла (ССМ) и микрокремнеземом (МК) [79] и другие.

Хигерович М.И. [139] исследовал влияние добавок мылонафта (МН) и синтетических жирных кислот (СЖК) на морозостойкость растворов состава Ц:П=1:3, приготовленных на портландцементе со средним содержанием  $C_3A$ . Коэффициент морозостойкости контрольных образцов через 75 циклов замораживания и оттаивания составил 0,93, растворов с добавкой МН – 1,02. Предел прочности при сжатии контрольных растворов через 250 циклов испытаний снизился на 58%, а с добавкой СЖК различных фракций – лишь на 25-44%.

В работах Кудякова А.И., Зиновьева А.А. [64, 78] изучена прочность сцепления штукатурных растворов с тонкодисперсной минеральной добавкой микрокремнеземом МК (5-10% от массы цемента) и омыленным талловым пеком. По результатам исследования увеличение прочности сцепления штукатурного раствора составляет 18-55% в сравнении с бездобавочными растворами. Для повышения морозостойкости цементных составов авторы изучают способ сокращения капиллярной пористости и увеличение количества «резервных» пор в материале, в том числе за счет использования воздухововлекающих добавок ВВД. Для характеристики морозостойкости цементных растворов, предложен термин «критерий морозостойкости».

В работе [79] Кудяков А.И. предлагает, для повышения морозостойкости ССС для монтажных и кладочных работ, вводить в состав смеси микрогранулированную воздухововлекающую добавку в количестве 10%. Добавка СМК приготовлена путем сухой минерализации пены на основе сырого сульфатного мыла (ССМ), побочного продукта сульфатной варки целлюлозы и микрокремнезема (МК). По результатам испытаний, морозостойкость растворов составила: без добавки – 50 циклов, СМК – 150 циклов, СМК+С-3 – 250 циклов.

В работах [60,106] исследуются цементные плиточные клеи с модификаторами «МетаМикс». При введении в рецептуру 1,5% модификатора «МетаМикс-1» значительно повышается адгезия клея к керамической плитке. Это происходит в результате быстрого образования большого количества высокодисперсных гидросиликатов кальция, которые совместно с полимером

повышают плотность контактной зоны на границе «цементный камень-керамическая плитка». Исследовалась адгезионная прочность плиточного клея после 35 циклов попеременного замораживания-оттаивания. При введении «МетаМикс-1» в количестве 1% от раствора, происходит повышение адгезионной прочности раствора с 0,84 (до начала испытаний на морозостойкость) до 0,95 МПа (после 35 циклов попеременного замораживания-оттаивания).

Логанина В.И. [96] исследует морозостойкость плиточного клея с модифицирующей добавкой на основе аморфных алюмосиликатов. По результатам определения пористости, в образцах с добавкой 20% зафиксировано снижение общей и капиллярной пористости на 6,8% и 35,8% соответственно по сравнению с контрольными. Это является фактором, повышающим морозостойкость плиточного клея.

Козлов В.В. в работе [72] приходит к заключению, что условием обеспечения монолитности адгезионного соединения является физико-химическим взаимодействием подложки и адгезива (керамической плитки и полимерцементного раствора). В качестве полимера использовалась поливинилацетатная дисперсия. Плиточный клей, имел следующие показатели: адгезионная прочность 5-10 МПа, морозостойкость не менее 50 циклов.

Значительную роль в возрастании адгезии и морозостойкости ССС играют релаксационные полимерные порошки (РПП) и эфиры целлюлозы.

Изучение влияния релаксационных порошков Виннапас на свойства сухих строительных смесей рассмотрены в работах Безбородова В.А. [12], Голунова С.А. [35], Карапузова Е.К. [66].

По результатам исследования [12], прочность сцепления полимерцементного раствора, содержащего Виннапас, на 28 сутки достигает 0,4-0,5 МПа, что превышает прочность бездобавочного раствора в 3 раза. В работе рассматривается влияние на адгезию отделочного слоя двух видов циклических воздействий: переменное замораживание и оттаивание, водонасыщение и высушивание.

В работе Карапузова Е.К. [66] исследуется РПП Виннапас RE 524 Z. В зависимости от дозировки РПП от 0,5 до 5%, затвердевшие смеси показали: прочность на сжатие не менее 15-10 МПа, адгезионную прочность клеевого соединения к бетону 0,2-1 МПа, морозостойкость не менее 50-100 циклов.

Голунов С.А. в работе [35] приводит результаты испытаний клеевых составов с разной дозировкой РПП Виннапас, при разных условиях хранения (НУ – нормальные условия). Результаты испытаний представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Результаты испытаний клеевых составов

Условия хранения	Адгезионная прочность к плитке пористостью не более 3% (по EN 1348), Н/мм <sup>2</sup>		
	Состав 0% Виннапас	Состав 2% Виннапас	Состав 5% Виннапас
28 суток НУ (при 23°С, влажность воздуха 50%)	0,7	0,9	1,2
7 суток НУ и 21 суток в воде	0,55	0,65	0,95
14 суток НУ и 14 суток при 70° С	–	0,5	0,7
7 суток НУ, 21 суток в воде и 25 циклов замораживания-оттаивания	0,5	0,6	0,85

В работе [62] сравниваются характеристики двух видов РПП марок Mowilith и Vinnapas. Определена оптимальная дозировка РПП 2,5-3%. Проводились исследования образцов на отрыв, при количестве добавки 3% от массы цемента. По результатам испытаний, лучшие показатели у растворов сополимера винилацетата и этилена марки Mowilith Pulver 1141P  $R_{сцеп}=1,23$  МПа в отличие от Vinnapas RE 5011L  $R_{сцеп}=0,94$  МПа.

Цюрбригер Р. в работе [142] изучает дисперсионные полимерные порошки (ДПП) фирмы ELOTEX. Рассмотрен механизм действия ДПП в растворе: полимер образует эластичную связь между раствором и самой плиткой, увеличивает количество воздушных пор и таким образом влияет на образование равномерного и однородного слоя раствора. ДПП типа ELOTEX 50E100 (3%)

положительно влияет на развитие адгезионной прочности и устойчивость к отрыву. По результатам исследований адгезионная прочность на 28 сутки твердения с добавкой ELOTEX 50E100 (3%) составила 1,1 Н/мм<sup>2</sup>, в растворе без добавки – 0,44 Н/мм<sup>2</sup>.

В работе [71] рассматриваются диспергируемые полимерные порошки РПП марок Dairen 1400, Neolit P4400, Elotex Flowkit в количестве 5-10% от массы цемента. Механизм действия РПП на клеевую полимерную дисперсию заключается в создании «резиновых мостиков» в порах состава и на границе с основой, что приводит к армированию цементного камня. Исследования показали: адгезионная прочность составов с РПП выше в 3-4 раза выше по сравнению с показателями бездобавочных цементно-песчаных растворов.

Дворкин Л.И. [45] рассматривает вопрос адгезионной прочности строительных растворов, в которые для обеспечения необходимой водоудерживающей способности раствора вводили полимерную добавку (эфир целлюлозы) Tylose от 0-0,15%. Это приводит к росту адгезии на 25-55%. В составе в качестве наполнителя используется гранитная каменная мука, также вводится суперпластификатор СП-3. Максимальная адгезионная прочность достигается по соотношению компонентов Н/Ц=0,35-0,4.

В нашей стране проводятся работы по созданию эфиров целлюлозы отечественного производства: REOMOD-A, REOMOD-B [88], полиэтиленоксид РЕО-S [138] и др.

В работе [138] исследуется совместное влияние модифицирующих добавок: минерального наполнителя – керамзитовой пыли с удельной поверхностью 300 м<sup>2</sup>/кг и химической водоудерживающей добавки – полиэтиленоксида РЕО-S производства ОАО «Казаньоргсинтез». Определена оптимальная дозировка водоудерживающей добавки полиэтиленоксида РЕО-S 1,8-2,1% по массе в составе клеевых ССС. По результатам исследования: адгезия к основанию составила 0,7-1 МПа, марка по морозостойкости, не менее F50.

В работе [37] исследуется комплексная добавка, состоящая: из простых эфиров целлюлозы (метилцеллюлозы и карбоксиметилцеллюлозы) -12%,

триполифосфата натрия -4,5%, ПАВ -0,5% и сухого кварцевого песка. Приведены технические свойства отделочных растворов из модифицированных СС: предел прочности на сжатие составил 10 МПа, морозостойкость составила 35 циклов и прочность сцепления 0,3 МПа.

В работе [18] исследуется прочность сцепления с кирпичным основанием цементно-песчаных растворов, модифицированных загустителями ПОЭ, МЦ, МЦ-с и редиспергированными порошками РЛП №22 и РЛП №23. Дозировка полимеров составила 0,1-1% от сухих составляющих смеси. По результатам испытаний наибольшую прочность сцепления показали растворы с дозировкой полимеров 1%: с добавкой ПОЭ -1,01 МПа, МС -1,42 МПа, МЦ-с -1,48МПа, РЛП №22 -1,52 МПа, РЛП №23 -1,71 МПа.

Проанализировав работы по морозостойкости и адгезии к основанию строительных растворов из ССС на цементном вяжущем, приходим к выводу о недостаточном исследовании влияния пористости на морозостойкость цементного состава. Практически не отражены в научной литературе вопросы морозостойкости контактной зоны, факторы, влияющие на нее. Эффективным методом для решения поставленных задач рассматривается способ введения в состав смеси редиспергируемых полимерных порошков и эфиров целлюлозы, причем при их комплексном использовании.

### **1.3 Роль редиспергируемых полимерных порошков и эфиров целлюлозы в сухих строительных смесях**

Рассмотрим состав и свойства редиспергируемых полимерных порошков и эфиров целлюлозы.

Редиспергируемые полимерные порошки (РПП) – сухие порошки органических полимеров, способные при диспергировании в воде образовывать водные дисперсии. Рассмотрим схему получения РПП (рисунок 1.1). Основными свойствами их являются: температура стеклования и минимальная температура пленкообразования. Температура стеклования – температура, при которой

полимер переходит при охлаждении из высокоэластичного или вязкотекучего в стеклообразное состояние. Минимальная температура пленкообразования – температура, ниже которой полимеры не могут создавать сплошную пленку.



Рисунок 1.1 – Схема получения РПП и его редиспергирование

Механизм действия РПП заключается в следующем: после затворения порошка водой, образуются полимерные пленки. Они заполняют микропустоты и трещины затвердевшего раствора, тем самым обеспечивая прочное скрепление полимера с цементным камнем (рисунок 1.2). Это приводит к повышению адгезии полимерцементного раствора к основанию.

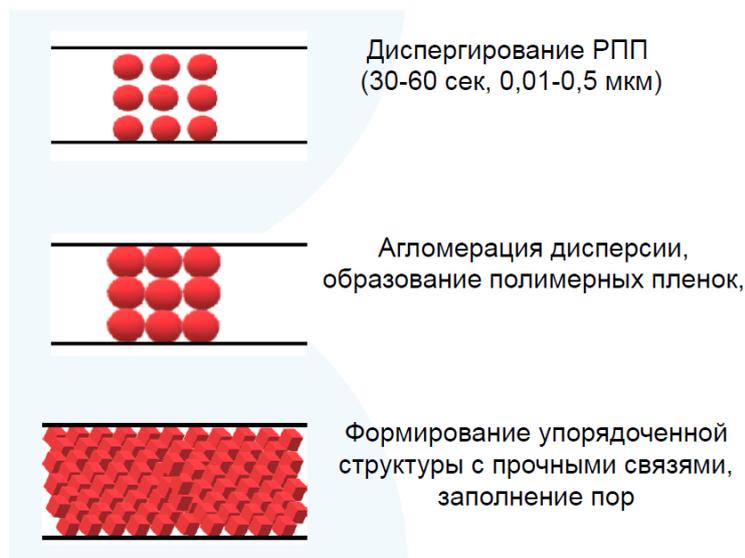


Рисунок 1.2 – Механизм твердения полимера

Эфиры целлюлозы – продукты химической модификации целлюлозы (метилцеллюлоза, этилцеллюлоза, карбоксиметилцеллюлоза и др.). Основным свойством эфиров целлюлозы является вязкость 2% раствора по Брукфильду. Вязкость раствора эфиров целлюлозы характеризует величину отдельных молекул клетчатки и силу их сцепления друг с другом.

Эфиры целлюлозы регулируют следующие свойства ССС:

- водоудерживающую способность;
- реологические процессы;
- улучшают клеящую способность;
- формоустойчивость и эластичность;
- устойчивость к температурным воздействиям;
- существенно снижают норму расхода строительного раствора.

На российском рынке ССС основными производителями и поставщиками РПП и эфиров целлюлозы являются компании, представленные в таблицах 1.2 и 1.3 [61,68-70, 76,154].

Таблица 1.2 – Редиспергируемые полимерные порошки (РПП)

Производитель/ Дистрибьютор в России	Марка	Тип полимера	Тем-ра стеклова- ния, °С	Мин. тем- ра пленко- образо- вания, °С
1.DOW Construction Chemicals	DLP: 211 (DOW™ Latex Powder), 212, 2001, 2000	Vae-VeoVA  VAE		3, 0, 2
2.Ashland ShECIALty Ingredients/ НТФ «Эфиры целлюлозы»	Aquapas: N 2028, N2098,HS 2098, M2128, M2228, M2328,T2328, T2628	VAE	+16, -8	+4 0
3.F.A.R. (Италия)/ЗАО «НПЦ Полихим»	Neolith: P4400, P5000, P6000, P6700			+6, +5, 0, +12

Продолжение таблицы 1.2

Производитель/ Дистрибьютор в России	Марка	Тип полимера	Тем-ра стеклова- ния, °С	Мин. тем- ра пленко- образо- вания, °С
4. Wacker Chemie AG (Германия)/ ЗАО «ЕвроХим -1»	VINNAPAS: 4023N 5010N, 5028E, 7210E, 7220E, 5012T	VAe-E	5, 16, 10, 18, 15, 16	1, 4, 7, 5
5. AKZO NOBEL/ «Дельта-Хим», ООО «Будхим»	ELOTEX: 60W, MP2100, ST2400, FX3300, FX5600, FX7000, FL2280	VA/E VA/VV/E VA/VV/E/Ac Ac/Sty VA		+5 +3 +5 0
6. Dairen Chemical Co (Тайвань)/ «ЕТС»	Dairen: DA-1210, DA-1400, DA-1420, DA-1130, DA-3400, DA-2200, DA-2310, DA-1120	VA/E VA/VeoVA VA/E	0±3 -15±5 15±5 -10±3 20±5 -14±5	
7. VINAVIL (Италия)/ Bang and Bonsomer	Vinavil: 5515P, E06 PA, 5603 PB, 5406 P, 5526 P, 5501 P	Terpol VacE VaVeoVa		12 1 0 13
8. Alta Chemical/ хим. холд. «Новый мир»	MP 2200	VAE		+5
9. Orgachem (Турция)/ЗАО «НПЦ Полихим»	ORP :5070MP, 7085HM, 7099RD Termobond 65			+8 +7 0
10. HEXION Specialty Chemicals BV (Нидерланды)/ НТФ «Эфиры целлюлозы»	Axilat: PA050, PAV22, PAV23, PAV27, PAV29, PAV30, PAV33, PSB150, UP600B, UP620E	VA VA/VeoVA бутадиен-сти- рольный соп-мер винил. термоп- мер	14, 16, 13, 9, 15	0, 6, 8

Продолжение таблицы 1.2

Производитель/ Дистрибьютор в России	Марка	Тип полимера	Тем-ра стеклова- ния, °С	Мин. тем- ра пленко- образо- вания, °С
11.Кубань Полимер (Россия), ООО «МАС Альбион»	REPOL: F-12 F-14, S-35H, S-35, T-832, S-51	VA VA/VeoVa VA/VeoVa/Ac		+18, +4, +5

Примечание: VA –винилацетат,

VAE – сополимер винилацетата и этилена

Veova – виниловый эфир вераатиковой кислоты

Ac – эфиры акриловой кислоты

Таблица 1.3 – Водоудерживающие добавки (эфиры целлюлозы)

Производитель/ дистрибьютор в России	Марка	Вязкость, мПа·с	Примечание
1.DOW Construction Chemicals (Германия)	WALOCEL™: МКХ 25000 PF 25L, 327 WALOCEL: MKS 10000 PF 60, VP-V-49125,	25000, 15000  10000, 8000	2% водный р-р, Вискозиметр Хааке РВ100, скорость сдвига 2,55 с <sup>-1</sup> , 20°С
2.HERCULES (Бельгия)/ООО НТФ «Эфиры целлюлозы»	Culminal: С 9115, С 9145, С 9155, С 9166, С 9157, С 9168, С 9133, С 4053, С8301, С 8564, С 8381, Combizell LH 70M	65000,30000, 25000,20000, 8000,5000, 45000,15000, 14000,41000, > 60000	Вязкость измерена при 20°С в 2% водном р-ре, вискозиметр Брукфильда RVТ, 20 об/мин
3.SE Tylose GmbH&Co (Германия)/ ЗАО НПЦ «Полихим»	Tylose: H300 P2, MH 15002 P6, MH 60010 P4, MHS 150003 P4, MHS 30024 P4	400-700 11000-15000 27000-35000 5600-8000 20000-30000	Ротационный вискозиметр Брукфильда (1,9% р-р)

Продолжение таблицы 1.3

Производитель/ дистрибьютор в России	Марка	Вязкость, мПа·с	Примечание
4. Samsung Fine Chemicals (Корея)/ ЗАО «ЕвроХим-1»	Hecellose H300 Mecellose: FMS 60150, PMS 15 US, FMS 21010, FMS 2070, FMS 22501, EHB 30 US, FMS 23007, FMS 23701, FMS 24502, PMS 50 US, FMS 7117, FMS 7150, EMA 70U, FMS 7113	250-550 120-220 12000-18000 14000-22000 18000-26000 25000-35000 27000-35000 33000-43000 40000-50000 45000-55000 20000-30000 30000-40000	Вязкость 2% водн.р-ра, 20 <sup>0</sup> С по Брукфильду
5. AKZO NOBEL / «Дельта-Хим», «ЕТС», Хим. холд. «Новый мир»	BERMOCOLL <sup>R</sup> ML 11, BERMOCOLL: E 511X, M800X, CCA098, M10, M30, ML31, E230FQ, CCA328, CCA342, CCA379, CCA425, CCA470, CCA662, CCA698, CCM879, E230X, CCA612, CCM825, EBS481FQ	1300, 7000, 11000, 9000 1000, 3000±500, 3200±500, 20±4, 6000±1000, 2650±350, 7000±1000, 2800±500, 8000±1000, 65000-8500, 12000, 240-360, 6500-7500, 10000-14000, 4250-6000	1% (раб.)  20 <sup>0</sup> С, Brookfield LV 1% p-p  1% p-p, ротацион. вискозиметр Брукфильда
6. Weikem Chemical Co/ «ЕТС»	WeKcelo MAT: 100, 150, 200, 300, 400, 500	5000, 15000, 25000, 35000, 45000, >50000	2% Brookfield
7. Alta Chemical / хим. холд. «Новый мир»	MC 20000 MHEC: 35000Д4, 50000Д4, 60000Д4, 200000Д4, HPMC 60000Д6	20000, 33000, 48000, 55000, 50000, 170000	Универсальный вискозиметр Хепплера, 1,9%, 20 <sup>0</sup> С

Продолжение таблицы 1.3

Производитель/ дистрибьютор в России	Марка	Вязкость, мПа·с	Примечание
8.Aqualon (отдел. комп. HERCULES)	Модифицированный Кульминал	730	
9. Taian Rutai Cellulose Co., Ltd., Китай/ Bang and Bonsomer	Rutocel 75 RT 50000	47000-55000	
9.Chem Partners (Индия-Китай)	MetaCell PM: 400, 1Н, 5Н, 15Н, 20Н, 30Н, 40Н, 50Н, 75Н, 100Н	300-400, 600-900, 3000-4000, 8000-12000, 14000-17000, 18000-25000, 25000-30000, 32000-40000, 40000-48000, 55000-75000	2% водн. р-р, 20 <sup>0</sup> С

Основные свойства РПП и эфиров целлюлозы и их действие на ССС изучено в работах Бийтца Р., Сивкова С.П., Стеканова Д.А., Цюрбригера Р., Черных Т.Н. [16, 130, 134, 142, 144].

Редиспергируемые полимерные порошки повышают плотность растворов из ССС. Полимеры адсорбируются на растущих гранях кристаллов новообразований [130]. Полимерные пленки создают защитную оболочку и стабилизируют гидратные фазы. В результате внешних воздействий на материал при многократном увлажнении-высушивании или замораживании-оттаивании образуется вторичный этtringит, который предотвращает коррозию материала. РПП влияют на устойчивость к отрыву плиточного клея, образуя эластичные пленки между раствором и основой, на которую он наносится [142]. РПП также увеличивает содержание воздушных пор в растворе и способствует образованию однородного слоя. Важнейшая роль РПП, это повышение адгезионной прочности составов на основе ССС, увеличение времени схватывания цемента,

прочности на изгиб. Полимерные пленки компенсируют усадочные трещины в контактной зоне между двумя материалами, тем самым повышая адгезию клеевых систем.

В качестве водоудерживающих добавок, замедляющих процесс гидратации цемента, используются эфиры целлюлозы. Механизм действия эфиров целлюлозы: уменьшение адсорбции воды в основание, на поверхность которого наносится раствор [16]. Чем больше вязкость эфиров целлюлозы, тем больше водоудерживающая способность раствора. Чем меньше степень дисперсности добавки, тем больше ее растворимость. Эфиры целлюлозы повышают устойчивость к сползанию модифицированных смесей [16]. Эфиры целлюлозы продлевают открытое время плиточного раствора. Важная роль эфиров целлюлозы, это воздухововлечение. Эти добавки образуют в растворе микропоры, равномерно распределенные по всему объему, что способствует повышению морозостойкости клеевого состава.

Разработан метод подбора добавки эфира целлюлозы по соотношению предельного напряжения сдвига клеевого слоя значению проектируемой нагрузки [134]. Критерием оценки пригодности добавки эфира целлюлозы принят коэффициент стабильности качества. Максимальные значения предельного напряжения сдвига получены при  $V/T=0,22+0,005$ . В работе исследованы эфиры целлюлозы марок Мецелоза, Комбицел, Бермокол, Кульминал, Тилоза. Наилучшие показатели были у эфиров целлюлозы Тилоза МН 60010 Р4 с минимальным количеством добавки 0,16% от массы сухих компонентов.

Целью исследования представляется задача по определению оптимальной дозировки РПП и эфиров целлюлозы, для достижения максимальных показателей адгезии и морозостойкости проектируемых строительных растворов различного назначения на цементном вяжущем.

#### **1.4 Исследования совместной работы полимерцементного раствора с бетонным основанием**

Основной задачей нашего исследования является формирование качественной контактной зоны между покрытием и бетонным основанием из ячеистого бетона. Для обеспечения максимальной адгезии полимерцементного раствора и основания необходимо обеспечить сродство структур обоих материалов. Вопросами разработки в этой области в настоящее время занимаются ученые Загороднюк Л.Х., Лесовик В.С., Парута В.А. [57, 84, 85, 120-122].

Теоретические основы совместной работы штукатурных составов с газобетонным основанием разработал Парута В.А. [122], необходимо:

- уменьшить трещинообразование при нанесении покрытия и замедлить появление трещин при эксплуатации;
- обеспечить способность покрытию выдерживать напряжения, возникающие при нанесении, твердении и эксплуатации, а также снимать эти напряжения;
- приравнять значения модулей упругости покрытия и основания;
- обеспечить высокую паропроницаемость покрытия, для предотвращения накопления влаги в контактной зоне;
- образовать контактную зону с эластичными и прочными свойствами.

Рассмотрим действия, обеспечивающие выполнение данных задач. Чтобы повысить трещиностойкость покрытия нужно уменьшать его модуль упругости. При уменьшении модуля упругости будут снижаться растягивающие напряжения в материале. Для того чтобы снижались растягивающие напряжения, необходимо сформировать внутри материала определенный вид пористости, уменьшить среднюю плотность и прочность [42, 57]. Комплекс этих мероприятий должен привести к уменьшению напряжений в штукатурном растворе и повысить его трещиностойкость.

Предлагаются следующие способы для достижения поставленной цели. Во-первых, необходимо обеспечить спад напряжений, возникающих в покрытии [9, 121]. Основная причина трещинообразования, это появление напряжений и деформаций на границе двух материалов (раствор-основание) при увлажнении-высушивании или нагревании-охлаждении. Поэтому необходимо на стадии

проектирования раствора, для обеспечения совместной работы покрытия и основания, задавать смеси требуемые свойства. Цементный раствор должен иметь сниженные значения модуля упругости, сопоставимые со значениями модуля упругости основания из ячеистого бетона. Для получения раствора с низким модулем упругости, в него можно вводить заполнители с низким модулем упругости [57, 84, 121, 136]. Усиливают этот эффект вводимые в состав смеси РПП и эфиры целлюлозы. Для уменьшения количества усадочных трещин в штукатурном растворе, можно использовать микродисперсное армирование наполнителей с низким модулем упругости [122].

Во-вторых, необходимо улучшить структурообразование отделочного слоя. Этого можно добиться, путем ввода в смесь тонкодисперсных композиционных вяжущих с высокой удельной поверхностью [50], либо путем моделирования пористости состава [84]. Раствор должен быть насыщен мелкими замкнутыми порами. Нужно снижать капиллярную пористость составов при увеличении гелевой пористости [84]. Для снижения плотности раствора до плотности газобетонного основания, в смесь можно вводить функциональные добавки [42, 57, 85].

Во-третьих, необходимо сформировать качественную контактную зону между покрытием и основанием, и повысить адгезию раствора. Для этого в смесь вводятся редиспергируемые полимерные порошки [42, 122, 136], наноразмерные добавки [85, 141]. Раствор должен обладать высокой водоудерживающей способностью, для этого необходимо вводить эфиры целлюлозы. Совместный ввод в смесь РПП и эфиров целлюлозы обеспечивают микроармирование контактной зоны [121, 122].

Для снижения модуля упругости штукатурного раствора Парута В.А. разработал состав, включающий заполнители с низким модулем упругости (карбонатный, керамзитовый, бой газобетона, перлит, вермикулит) [120, 121]. Для усиления эффекта в смесь вводились модифицирующие добавки эфиров целлюлозы и РПП.

Предлагается для повышения адгезионной прочности раствора вводить в состав смеси наноразмерные добавки (многослойные углеродные нанотрубки (УНТ) и кремнезоль (КЗ)) [141]. Для выравнивания коэффициентов линейного температурного расширения покрытия и основания используют отходы хризотилцементного производства (ХЦП), обеспечивающие микроармирование смеси. Введение наноразмерных модификаторов повышает адгезию в 1,5-2 раза.

Основываясь на законе сродства структур, Лесовик В.С. [85] разработал раствор с функциональной добавкой комплексным органо-минеральным модификатором (КОММ). Полученная смесь на микроуровне идентична газобетонному основанию, имеет пониженную плотность. Создается устойчивая связь в контактном слое между раствором и основанием. Адгезия увеличивается в 2,8 раза, морозостойкость на 50%.

Исследованиями по снижению плотности растворов с учетом закона сродства структур занимается Загороднюк Л.Х. [57]. Разработан состав, включающий вспученный перлитовый песок, пенополистирольные микросферы и функциональные добавки (порообразователь, суперпластификатор, РПП). Использовался способ механоактивации вяжущих компонентов, в результате чего предел прочности на сжатие увеличился на 23%. В результате использования пенополистирольных микросфер плотность раствора снизилась на 82% и составила 0,9 г/см<sup>3</sup> при максимальной прочности 2,3 МПа. Определены оптимальные дозировки модифицирующих добавок.

Еще один способ снижения плотности раствора – применение поризованного раствора с плотностью 1200-1400 кг/м<sup>3</sup> [42]. Состав на основе поливинилацетатной дисперсии и латекса СКС-65ГП в количестве 8-12% от массы цемента, повышает прочность при растяжении, морозостойкость, адгезию цементного раствора. При этом происходит снижение модуля упругости на 12-14%.

В работе [5] проведены исследования по получению значения коэффициента паропроницаемости растворов из сухих строительных смесей, соответствующих величине паропроницаемости подложки. Для получения

требуемого коэффициента паропроницаемости в смесь вводятся тонкодисперсные добавки.

Для повышения водонепроницаемости смесей при сохранении паропроницаемости, предлагается включать в их состав полимерные добавки проникающего действия – комплекс водорастворимых солей (сульфаты, карбонаты, нитраты и др.) [6]. Химические добавки, проникая на определенную глубину, вступают во взаимодействие с составляющими цементного камня. В результате происходит уплотнение структуры бетона за счет проникновения полимеров в поры, капилляры и микротрещины бетона.

Основываясь на вышеизложенных результатах, можно прийти к выводу о возможности улучшения характеристик цементных покрытий путем целенаправленного модифицирования их состава. Необходимо создание прочной связи между покрытием и основанием из ячеистого бетона, обеспечиваемое совместимостью материалов. Необходима разработка методики определения адгезии к ячеистому бетону, так как в ГОСТ 31357-2007 приведена методика определения адгезии раствора к основанию только из тяжелого бетона [41]. Все это может являться основой для создания нового класса «интеллектуальных» строительных материалов с эффективными свойствами [85].

## **1.5 Цели и задачи исследования**

Проанализировав научно-техническую литературу по исследованию повышения адгезии и морозостойкости строительных растворов различного назначения на цементном вяжущем, выявлено, что применение редиспергируемых полимерных порошков и эфиров целлюлозы является актуальным и наиболее перспективным направлением исследований в этой области.

Для формирования качественной контактной зоны между полимерцементным раствором и бетонным основанием следует использовать основные положения закона о сродстве структур.

На основании вышеизложенного можно сформулировать цель работы – 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.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1 Материалы

#### 2.1.1 Цементы

Исследования проводились на трех видах портландцементов. Первый вид цемента – портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н, производитель АО «Евроцементгруп» Воронежский филиал (Подгоренский), изготовленный в соответствии с ГОСТ 31108-2016. Технические характеристики портландцемента представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Показатели качества портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н  
(по паспорту)

1. Строительно-технические свойства цемента	
Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте: 2 суток	29.0±1.0
28 суток	56.0±2.0
Начало схватывания, мин	190±10
Конец схватывания, мин	230±1.0
Удельная поверхность, м <sup>2</sup> /кг	380±10
Нормальная плотность цементного теста, %	27.5±0.5
Ложное схватывание	отсутствует
Равномерность изменения объема, мм	0.01±0.05
Потеря массы при прокаливании, %	3.01±0.02
Содержание оксида серы (IV) SO <sub>3</sub> , %	2.96±0.03
Содержание хлорид-иона Cl <sup>-</sup> , %	0.024±0.007
2. Химический состав клинкера, %	
Оксид кальция	64.91±0.08
Оксид кремния	21.21±0.07
Оксид алюминия	5.21±0.09
Оксид железа (III)	3.70±0.04
Оксид магния	0.86±0.12
Оксид серы (VI)	0.14±0.03
Щелочные оксиды (в пересчете на Na <sub>2</sub> O)	0.90±0.03
3. Минералогический состав клинкера (расчетный), %	
Трехкальциевый силикат (C <sub>3</sub> S)	60.71±0.3
Двухкальциевый силикат (C <sub>2</sub> S)	13.47±0.37
Трехкальциевый алюминат (C <sub>3</sub> A)	7.57±0.2
Четырехкальциевый алюмоферит (C <sub>4</sub> AF)	11.24±0.13

## Продолжение таблицы 2.1

4. Санитарно-эпидемиологические свойства цемента	
Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ , Бк/кг	64.4±23.9

Второй вид цемента, используемый в исследовании – портландцемент ЦЕМ I 52,5 Н, производитель ЗАО «Осколцемент» по ГОСТ 31108-2016, ГОСТ 30515-2013. Технические характеристики портландцемента представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Показатели качества портландцемента ЦЕМ I 52,5 Н  
(по паспорту)

1. Строительно-технические свойства	
Средняя активность в возрасте 2/28 суток, МПа	25,4/59,8
$C_4AF$ (четырекальциевый алюмоферрит), %	12,1
Равномерность изменения объема (расширение), мм	0
Наличие признаков ложного схватывания	нет
2. Химический состав клинкера	
Содержание оксида серы (IV) $SO_3$ , %	2,77
Содержание хлорид-иона, %	-
Гарантийный срок соответствия цемента требованиям стандарта, суток	60
Нормальная плотность цементного теста, %	25,7
Содержание оксида магния $MgO$ , %	0,92
3. Минералогический состав клинкера	
$C_3S$ (трехкальциевый силикат), %	62,2
$C_2S$ (двухкальциевый силикат), %	14,4
$C_3A$ (трехкальциевый алюминат), %	8,2
Класс прочности	52,5
Содержание специальных добавок (ТЭА), %	0,015
4. Санитарно-эпидемиологические свойства цемента	
Значение удельной эффективной активности радионуклидов, БК/кг	59,9

Третий вид цемента – сульфатостойкий цемент ЦЕМ I 42,5 Н СС, производитель АО «Подольск-цемент» по ГОСТ 22266-2013. По литературным данным, сульфатостойкие цементы могут эксплуатироваться при воздействии

сульфатной агрессии, в процессе циклического знакопеременного температурного воздействия, они обладают стойкостью к химической коррозии. Технические характеристики портландцемента представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Показатели качества портландцемента ЦЕМ I 42,5 Н СС  
(по паспорту)

1. Строительно-технические свойства	
Тонкость помола (остаток на сите 008), %	10-12
Нормальная плотность цементного теста, %	25-27
Водоцементное отношение	0,5
Начало схватывания, час	2
Конец схватывания, час	4
Предел прочности при сжатии, МПа в возрасте: 2 суток	Не менее 10
28 суток	Не менее 42,5
Потеря массы при прокаливании, %	Не более 3
Нерастворимый остаток, %	Не более 3,0
Содержание оксида серы SO <sub>3</sub> , %	Не более 2,7
Содержание хлорид-иона, %	Не более 0,1
2. Химический состав клинкера, %	
Оксид алюминия Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Не более 5,0
Оксид магния (MgO)	Не более 5,0
3. Минералогический состав клинкера, %	
(C <sub>3</sub> A+C <sub>4</sub> AF) – не нормируется	
Трехкальциевый алюминат (C <sub>3</sub> A)	Не более 5,0

### 2.1.2 Добавки

В исследовании использовались три вида редиспергируемых полимерных порошков с дозировкой от 0 до 3% от массы сухой смеси.

Первый вид редиспергируемого полимерного порошка VINAVIL E06 PA, производитель «Vinavil S.p. A.», Италия. VINAVIL E06 PA представляет собой редиспергируемый порошок на основе полимера этилен-винилацета (VA/ E). Технические характеристики VINAVIL E06 PA представлены в таблице 2.4. По данным производителя область применения VINAVIL E06 PA – многоцелевой сополимерный порошок, придает конечным материалам высокий уровень качественных характеристик в цементных и гипсовых составах, также как и в

негидравлических системах. VINA VIL E06 PA повышает поверхностную адгезию, прочность на изгиб и стойкость к замораживанию-оттаиванию; при использовании в ремонтных растворах, увеличивает адгезионно-когезионную стойкость, благодаря чему материал обладает отличной долговечностью и износостойкостью; может использоваться в клеевых составах и штукатурках для систем наружной теплоизоляции. При добавлении в смесь VINA VIL E06 PA увеличивает пластичность, и, в связи с этим, позволяет относительно большие движения основания прежде, чем образуются трещины; позволяет увеличить водоудерживающие характеристики смеси, что чрезвычайно важно для создания тонкослойных растворов или для применения на абсорбирующей подложке. Химический состав VINA VIL E06 PA представлен в таблице 2.5.

Таблица 2.4 – Технические характеристики VINA VIL E 06 PA  
(по данным производителя)

Цвет/форма/запах	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Минимальная температура пленкообразования, прибл	Температура стеклования Tg (DSC), прибл	Вязкость, мПа*С
Порошок кремового цвета без запаха	0,45	0 <sup>0</sup> С	+15 <sup>0</sup> С	600

Таблица 2.5 – Химический состав VINA VIL E 06 PA  
(по данным производителя)

Параметр	Спецификация, %
Этилен	10
Винилацетат	75
Каолин	15

Второй вид редиспергируемого полимерного порошка - VINAVIL SL 11P, производитель «Vinavil S.p. A.», Италия. По данным производителя VINAVIL SL 11P представляет собой редиспергируемый винилверсатат-винилацетатный порошок (VA/ VV), хорошо смешивающийся с наполнителями любого типа, пригоден, в т.ч. для применения в сухих смесях для самовыравнивающихся полов. Технические характеристики VINAVIL SL 11P представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Технические характеристики VINAVIL SL 11P  
(по данным производителя)

Область применения	Полимерная основа	Минимальная температура пленкообразования, прибл	Температура стеклования Tg (DSC), прибл	Вязкость, мПа*С
Самовыравнивающиеся составы, стяжки	VA/ VV	-11 <sup>0</sup> С	-31 <sup>0</sup> С	300

Третий вид редиспергируемого полимерного порошка VINNAPAS 4042 Н, производитель «Wacker Chemie AG», Германия. По данным производителя, редиспергируемый порошок на основе сополимера винилацетата и этилена, отличается большими показателями к омылению. Имеет мягкость и гибкость из-за содержания этилена. Способствует повышению сцепления (адгезии) и прочности на растяжение. Положительно влияет на пластичность и обрабатываемость материалов на основе VINNAPAS 4042 Н. При этом не изменяются растекаемость, тиксотропия. Технические характеристики VINNAPAS 4042 Н представлены в таблице 2.7.

Выбор вышеуказанных РПП сделан на основе предварительных испытаний группы порошков с использованными в настоящей работе цементами.

Таблица 2.7 – Технические характеристики VINNAPAS 4042 Н

(по данным производителя)

Преимущество данного материала	Полимерная основа	Минимальная температура пленкообразования, приibl	Температура стеклования Tg (DSC), приibl
Гидрофобный продукт с хорошей адгезией даже при низких температурах	VA <sub>c</sub> -E	0 <sup>0</sup> C	-7 <sup>0</sup> C

Помимо полимеров, в ряд составов вводились низкомолекулярные включения (НМВ). Одним из видов низкомолекулярных включений являлась воздухововлекающая добавка (ВВ) Esaron 1214, производитель «Lamberti», Италия. По данным производителя область применения Esaron 1214 – является порообразователем, пластификатором и смачивателем для сухих строительных смесей с использованием минеральных вяжущих: цемента, гипса, извести. Область применения добавки – для штукатурных и кладочных растворов, в шпаклевках и т.д. Процесс порообразования Esaron 1214, способствует снижению усадки и растрескивания. Данная воздухововлекающая добавка способствует ускорению смачивания и диспергированию, лучшей перерабатываемости строительных смесей и снижает их клейкость. Технические характеристики Esaron 1214 представлены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Технические характеристики Esaron 1214

(по данным производителя)

Состав	лаурил сульфат натрия
Внешний вид	мелкий белый порошок
Влажность, %	ок. 2
pH (8% раствора)	9,5 - 10,5
Плотность, г/см <sup>3</sup>	ок. 0,35
Растворимость	растворим в холодной и тёплой воде
Дозировка, % на сухую строительную смесь	0,005-0,03

Вторым видом низкомолекулярных включений является зольная микросфера Новочеркасской ГРЭС – полые алюмосиликатные микросферы в золах-уноса тепловой электростанции. Сжигаемый уголь – Донецкий бассейн. Тип шлакоудаления – жидкий. Химический состав зольной микросферы представлен в таблице 2.9, технические характеристики в таблице 2.10.

Таблица 2.9 – Химический состав зольной микросферы  
(по данным производителя)

Содержание, %							
SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	Na <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ·2O <sub>3</sub> MnO
58,0	28,0	1,50	1,00	0,70	1,00	5,00	4,00

Таблица 2.10 – Свойства зольной микросферы  
(по данным производителя)

Фракции, мм	0-2,5
Средняя насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	380-410
Плотность гранул, кг/м <sup>3</sup>	580
Пустотность, %	28-30
Истинная плотность оболочки, кг/м <sup>3</sup>	2490-2500
Диаметр, мкм	20-2000
Коэффициент теплопроводности, Вт/м <sup>0</sup> С	0,11-0,125

В качестве водоудерживающей добавки (ВУ) использовались эфиры целлюлозы Rutocel 75 RT 50000, производитель «Taian Rutai Cellulose Co., Ltd.», Китай. Rutocel 75 RT 50000 представляет собой гидроксипропиметилцеллюлозу. Технические характеристики Rutocel 75 RT 50000 представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Технические характеристики Rutocel 75 RT 50000  
(по данным производителя)

Внешний вид/цвет/запах	белый порошок (или гранулы) без запаха
Вязкость (20С°), мПа·С.	47000-55000 mpa.s
pH (25С°)	5,0 – 8,5
Растворимость	растворим в воде
Влажность в упаковке, %	max 5%

По данным производителя область применения Rutocel 75 RT 50000 – в строительной промышленности в качестве добавки в производстве наливных полов, шпатлевок. Выбор добавки произведен по результатам предварительных испытаний группы водоудерживающих добавок с исследованными цементами.

Для проведения исследований были запроектированы 36 составов, с различным сочетанием компонентов, представленные в таблице 2.12.

Таблица 2.12 – Виды составов

Обозначение состава	Цемент		ВУ	РП		ВВ	П	МС
	вид	кол-во		вид	кол-во			
1.1	ПЦ-1	35%	0,25%	РПЗ	0%	-	65%	-
1.2					1%			
1.3					2%			
1.4					3%			
1.5		36,2%		РПЗ	0%	-	62,5%	1,31%*
1.6					1%			
1.7					2%			
1.8					3%			
1.9		35%		РПЗ	0%	0,015%	65%	-
1.10					1%			
1.11					2%			
1.12					3%			
2.1	ПЦ-2	35%	0,25%	РП4	0%	-	65%	-
2.2					1%			
2.3					2%			
2.4					3%			
2.5		36,2%		РП4	0%	-	62,5%	1,31%*
2.6					1%			
2.7					2%			
2.8					3%			
2.9		35%		РП4	0%	0,015%	65%	-
2.10					1%			
2.11					2%			
2.12					3%			

Продолжение таблицы 2.12

Обозначение состава	Цемент		ВУ	РП		ВВ	П	МС
	вид	кол-во		вид	кол-во			
3.1	ПЦ-3	35%	0,25%	РП5	0%	-	65%	-
3.2					1%			
3.3					2%			
3.4					3%			
3.5		36,2%		РП5	0%	-	62,5%	1,31%*
3.6					1%			
3.7					2%			
3.8					3%			
3.9		35%		РП5	0%	0,015%	65%	-
3.10					1%			
3.11					2%			
3.12					3%			

Расшифровка обозначений компонентов:

ПЦ-1 – ЦЕМ I 42,5 Н

ПЦ-2 – ЦЕМ I 52,5 Н

ПЦ-3 – ЦЕМ I 42,5 Н СС

ВУ – Rutocel 75 RT 50000

РП-3 – Vinavil 06 PA

РП-4 – Vinavil SL 11 P

РП-5 – Vinnapas 4042 Н

ВВ – Esaron 1214

П – песок

МС – микросфера

Базовый состав Ц:П=35:65%. Реологическая подвижность смеси определялась по ГОСТ 5802-86, в зависимости от назначения подвижность раствора составила марку ПК-3 с погружением конуса 8-12 см.

\* - в составах, содержащих зольную микросферу в качестве низко модульного включения, 7% по массе от навески песка заменялись

аналогичным объёмом микросферы. В пересчете получилось Ц:П:МС = 36,2:62,5:1,31%.

## 2.2 Методика проведения испытаний

### 2.2.1 Определение механических свойств строительного раствора на основе сухих строительных смесей

Предел прочности при изгибе определялся по методике ГОСТ 310.4 на образцах-балочках размером 160x40x40 мм в возрасте 28 суток, либо после циклического замораживания-оттаивания (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Испытание на изгиб образцов-балочек (СИ-2-100-УХЛ4.2.)

Предел прочности на сжатие определялся по методике ГОСТ 310.4 на половинках балочек, полученных после испытания на изгиб (рисунок 2.2). Средняя скорость нарастания нагрузки ( $2.0 \pm 0.5$ ) МПа/с.



Рисунок 2.2 – Испытание на сжатие половинки образца-балочки

### 2.2.2 Определение прочности сцепления с бетонным основанием

Прочность сцепление с бетонным основанием определялась по ГОСТ 31356. Прочность сцепления (адгезия) определялась по силе отрыва образца затвердевшего мелкозернистого бетона от основания. В качестве основания использовалась бетонная плита, соответствующая требованиям ГОСТ. Сила прилагалась к образцу через металлический диск со штампом, приклеенным к поверхности образца. Размеры штампа 50x50 мм, толщина 12 мм. Число образцов в серии 5. Изготовленные образцы твердели в течение 28 суток в нормальных условиях. Через 27 суток к затвердевшим образцам приклеивали штамп эпоксидным клеем и хранили в естественных условиях 24 ч. Далее определялась прочность на отрыв на приборе ОНИКС-АП №133 (рисунок 2.3). К штампу прикладывалась сила со скоростью нарастания  $250 \pm 50$  Н/с. Аналогично готовили образцы для определения прочности сцепления с основанием после циклического замораживания-оттаивания.

Прочность сцепления с основанием при испытании одного образца  $A_i$ , МПа, определяется по формуле:

$$A_i = \frac{F}{S}, \quad (2.1)$$

где  $F$  – максимальная сила отрыва образца от основания, Н;

$S$  – площадь контакта поверхности образца с основанием, мм<sup>2</sup>.



а

б

Рисунок 2.3 – Испытание на прочность сцепления

а) до испытания;

б) после испытания.

В качестве результата испытания принималось среднееарифметическое значение результатов испытаний всех образцов с данной бетонной плиты (основания)  $A_{сц}$ , Мпа.

Модуль упругости определялся посредством измерения скорости ультразвука на приборе ПУЛЬСАР-2.2 (рисунок 2.4) по методике [109].

Определялись максимальные и минимальные значения модуля упругости по формулам:

$$E_{min} = 0,695 c V^2, \quad (2.2)$$

$$E_{max} = 0,793 c V^2, \quad (2.3)$$

где  $c$  – коэффициент, значение которого принято по данным [109] 0,823.

$V$  – скорость распространения продольных волн.



Рисунок 2.4 – Определение модуля упругости

### 2.2.3 Определение морозостойкости строительного раствора и морозостойкости контактной зоны

Морозостойкость раствора определялась в соответствии с ГОСТ 10060 по I методу. Согласно Приложению Ж СП 28.13330 за базовое значение была принята марка по морозостойкости F75. Испытания проводились на образцах-балочках размером 160x40x40 мм. Определяли следующие показатели:

- скорость ультразвука каждые 5 циклов замораживания-оттаивания;
- массу образцов каждые 5 циклов замораживания-оттаивания;
- изменение линейных размеров после оттаивания каждые 5 циклов замораживания-оттаивания;
- предел прочности на сжатие и при изгибе перед началом испытаний и после 75 циклов замораживания-оттаивания.

Относительная деформация образцов определялась по методике ГОСТ 24544 на устройстве УБ-40 (рисунок 2.5). Данный прибор включает в себя штатив и индикатор с погрешностью измерения  $\pm 0,01$  мм, контрольный стержень из нержавеющей стали. Для измерения деформаций к образцам прикрепляли реперы, которые были специальным образом закреплены в формах.

Относительная деформация образцов  $\varepsilon$ , %, после N циклов замораживания-оттаивания рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{l_2 - l_1}{L_g}, \quad (2.4)$$

где  $l_1$  – показание индикатора до замораживания, мм;

$l_2$  – показание индикатора после N циклов замораживания-оттаивания;

$L_g$  – длина образца до замораживания (расстояние между реперами), мм.



Рисунок 2.5 – Определение относительной деформации

Средняя плотность определялась по методике ГОСТ 5802. Размеры определялись штангенциркулем с погрешностью не более 0,1 мм. Масса образцов определялась взвешиванием с погрешностью не более 0,1%. Плотность образца раствора  $\rho_w$  определялась по формуле:

$$\rho_w = \frac{m}{V}, \quad (2.5)$$

где  $m$  – масса образца, г;

$V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

Плотность раствора серии образцов вычислялась как среднее арифметическое значение результатов испытания всех образцов серии.

Морозостойкость контактной зоны определялась по методике ГОСТ 31357 по изменению прочности сцепления затвердевшего раствора с основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания по режиму, приведенному в ГОСТ 10060. Прочность на отрыв измерялась прибором ОНИКС-АП №133. К штампу прикладывалась сила со скоростью нарастания  $250 \pm 50$  Н/с.

#### **2.2.4 Определение гидрофизических свойств и показателей пористости строительного раствора**

Водопоглощение раствора определялось на образцах цилиндрах размером  $100 \times 50$  (h) мм по методике ГОСТ 12730.3. Образцы взвешивались через интервалы времени: 15 мин, 1 ч, 24 ч, 96 ч.

Объемное водопоглощение строительного раствора отдельного образца  $W_{96}$ , %, определялось по формуле:

$$W_{96} = \frac{m_{96} - m_c}{V}, \quad (2.6)$$

где  $m_{96}$  – масса водонасыщенного образца после 96 ч выдержки, г;

$m_c$  – масса высушенного образца, г;

$V$  – объем образца,  $\text{см}^3$ .

Водопоглощение строительного раствора серий образцов определялось как среднее арифметическое значение результатов испытаний отдельных образцов в серии. В соответствии с ГОСТ 12730.4 объемное водопоглощение бетона в серии образцов равняется объему открытых капиллярных пор бетона (открытая пористость) и определяется по формуле:

$$P_o = W_{96}, \quad (2.7)$$

где  $P_o$  – открытая пористость, %.

Водопоглощение строительного раствора определялось также методом кипячения образцов. Для определения водопоглощения образцы кипятили в сосуде с водой в течении 4 ч. Водопоглощение бетона при кипячении по объему  $W_{\text{total}}$  определяется по формуле:

$$W_{\text{total}} = \frac{m_{\text{кип}} - m_c}{V}, \quad (2.8)$$

где  $m_{\text{кип}}$  – масса образца после кипячения, г;

$m_c$  – масса высушенного образца, г;

$V$  – объем образца, см<sup>3</sup>.

Согласно ГОСТ 12730.4 водопоглощение строительного раствора при кипячении соответствует полному объему пор строительного раствора (полная пористость) и определяется по формуле:

$$P_n = W_{\text{total}}, \quad (2.9)$$

где  $P_n$  – полная пористость, %.

Объем условно-закрытых пор строительного раствора определяется по формуле ГОСТ 12730.4

$$P_{\text{уз}} = P_n - P_o. \quad (2.10)$$

По результатам расчета определялся критерий морозостойкости  $K_F$  по формуле [108]:

$$K_F = \frac{P_{\text{уз}}}{0,09 \cdot P_o}. \quad (2.11)$$

### ГЛАВА 3. ПРИНЦИПЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕДИСПЕРГИРУЕМЫХ ПОЛИМЕРНЫХ ПОРОШКОВ И НИЗКОМОДУЛЬНЫХ ВКЛЮЧЕНИЙ НА СТРОИТЕЛЬНЫЕ РАСТВОРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

#### 3.1 Воздействие редиспергируемых порошков различной дозировки на свойства строительного раствора

Редиспергируемые полимерные порошки оказывают воздействие на свойства сухих строительных смесей. Целью исследования является выявление некоторых закономерностей влияния РПП на свойства строительных растворов различного назначения, полученных из ССС на цементном вяжущем и получение количественных показателей, характеризующих эффективность РПП. Для решения данной задачи произведены исследования цементов, производимых в РФ в комбинации с различными видами РПП. В составах дозировка РПП варьировалась в интервале от 0 до 3% от массы сухой смеси. Испытания механических свойств составов произведены в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях (НУ), которые представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Результаты определения механических свойств  
строительных растворов

Виды цементов	Дозировка РПП, %	Механические свойства растворов, МПа			
		R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
ПЦ-1+ РП-3	0	15,2	4,29	11975	1,06
	1	10,5	3,74	10010	1,17
	2	12,7	4,28	10320	0,64
	3	10,9	3,59	8885	0,59
ПЦ-2 + РП-4	0	21,1	5,43	13810	1,03
	1	17,2	4,64	12553	1,19
	2	13,4	4,17	10382	1,41
	3	13,3	4,1	10270	1,22

Продолжение таблицы 3.1

Виды цементов	Дозировка РПП, %	R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
ПЦ-3 +	0	14,1	4,12	11530	0,87
РП-5	1	13,3	4,06	11096	1,03
	2	13,1	4,1	10097	1,12
	3	11,6	3,97	9475	1,16

Рассмотрим зависимости, возникающие между различными свойствами исследуемых составов. Взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе и пределом прочности на сжатие показана на рисунке 3.1.

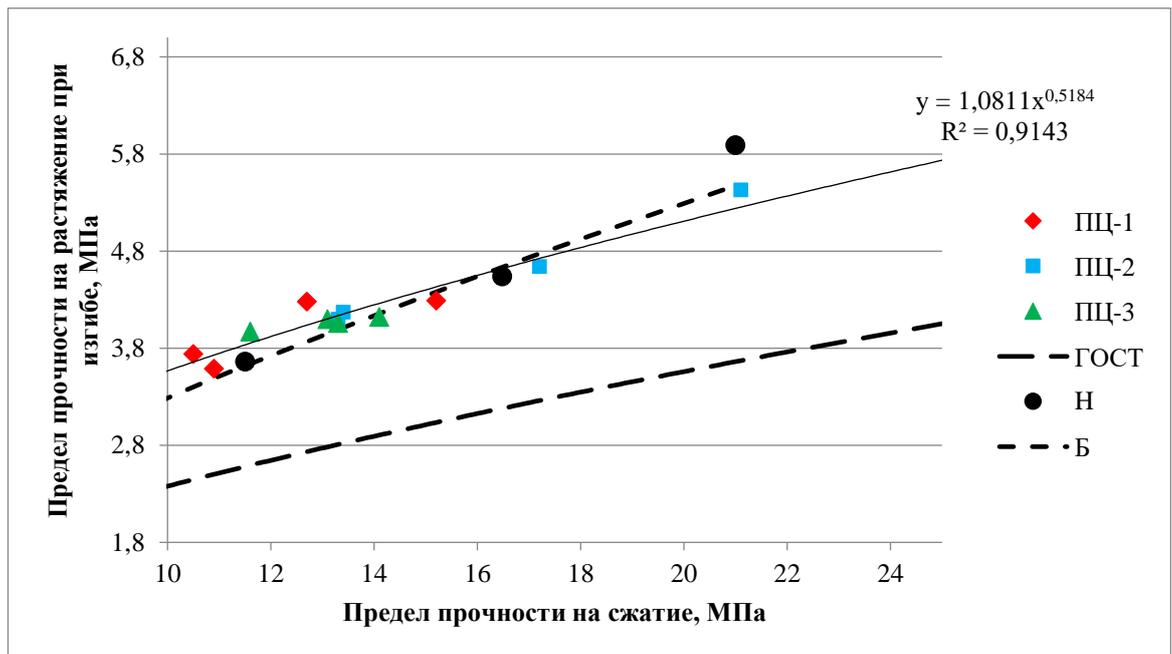


Рисунок 3.1 – Взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе и пределом прочности на сжатие;

ПЦ-1, (2; 3) – цементы в сочетании соответственно с РП-3, РП-4, РП-5;

ГОСТ – экстраполированные данные по ГОСТ 10178;

Н – по данным [108] для штукатурных растворов из ССС;

Б – по данным [110] для МЗБ с органоминеральным модификатором

По данным, представленным в таблице 3.1 и рисунке 3.1, можно сделать выводы:

- взаимосвязь  $R_f = f(R)$  не зависит от вида цемента, дозировки и вида РПП, т.е. является достаточно универсальной;

- значения  $R_f$  для строительных растворов превышают значения, нормируемые для ПЦ по ГОСТ 10178.

На рисунке 3.2 представлена зависимость предела прочности строительных растворов на цементных вяжущих от дозировки РПП. Зависимость описывается функцией:

$$\frac{R}{R_0} = a \cdot \text{РПП}^b, \quad (3.1)$$

где  $R_0$  – предел прочности строительного раствора без РП,

РП – дозировка РП, %.

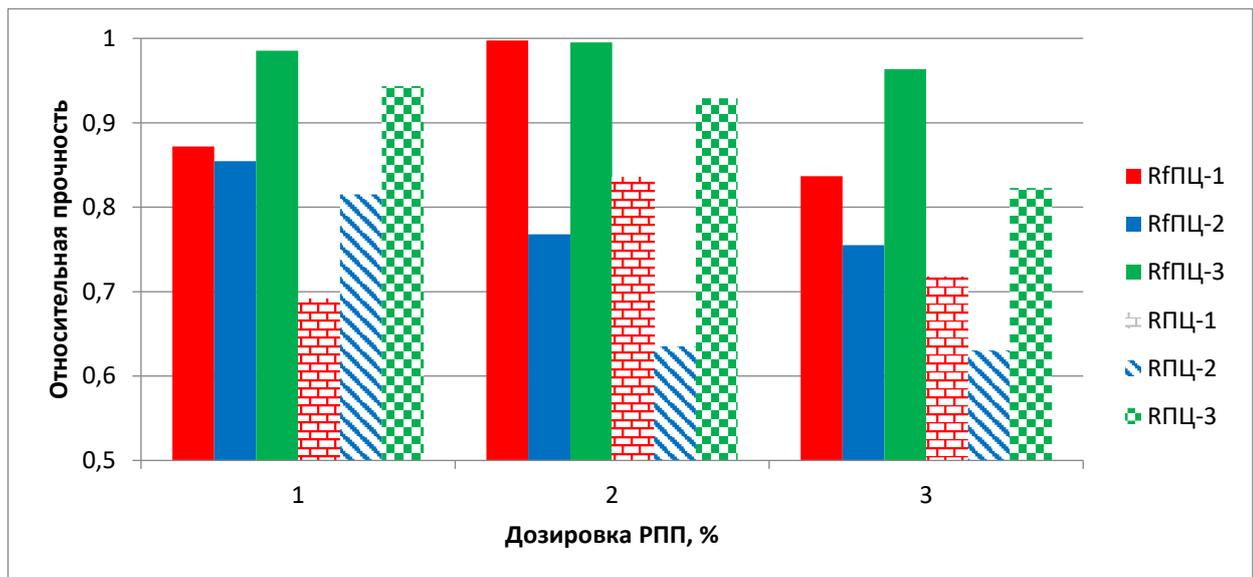


Рисунок 3.2 – Воздействие РПП различной дозировки на предел прочности строительных растворов;

$R_f$ ПЦ-1 (ПЦ-2, ПЦ-3) – на растяжение при изгибе для исследованных составов;

РПЦ-1 (ПЦ-2; ПЦ-3) при сжатии для исследованных составов

В таблице 3.2 представлены показатели коэффициентов данной функции.

Таблица 3.2 – Показатели коэффициентов степенной функции

Цементы	Относительная прочность	Коэффициенты		
		$a$	$b$	$R^2$
ПЦ-1	R	0,764	- 0,038	0,717
	$R_f$	0,907	- 0,014	0,336
ПЦ-2	R	0,707	- 0,053	0,805
	$R_f$	0,805	- 0,032	0,9
ПЦ-3	R	0,903	- 0,016	0,541
	$R_f$	0,983	- 0,003	0,39
все	R	0,787	- 0,035	0,481
	$R_f$	0,895	- 0,016	0,269

По представленным в таблице 3.2 и на рисунке 3.2 данным, можно сделать выводы:

- выявлена общая направленность в снижении пределов прочности составов при увеличении дозировки РПП, причем снижение прочности на сжатие может достигать примерно 40%, в зависимости от вида ПЦ и РПП, а на растяжение при изгибе примерно 15%;

- установлено в составах с РПП, что значение снижения предела прочности на растяжение при изгибе меньше, чем на сжатие, что можно объяснить эффектом повышения предела прочности на растяжение при изгибе при равной прочности на сжатие в растворах на цементном вяжущем, исследованных в работах [23, 71];

- также на снижение предела прочности состава на сжатие влияет не только дозировка РПП, но и вид ПЦ и РПП, поэтому необходимо определить оптимальное сочетание ПЦ+РПП.

Рассмотрим взаимосвязь между пределом прочности на сжатие строительного раствора и величиной начального модуля упругости (рисунок 3.3).

По изображенным на рисунке 3.3 данным, можно утверждать:

- существует четкая зависимость между начальным модулем упругости раствора с РПП и пределом прочности на сжатие;

- при увеличении дозировки РПП до 3% происходит снижение начального модуля упругости раствора на 18 – 26% в зависимости от вида цемента и РПП;

- при введении в состав раствора добавок: РПП и ВУ (эфир полиметилцеллюлозы), наблюдается снижение величины начального модуля упругости в сравнении с бездобавочным эталоном примерно на 30%;

- введение в состав раствора, в дополнение РПП и ВУ, суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов, приводит к дополнительному снижению начального модуля упругости бетона до 10% [111].

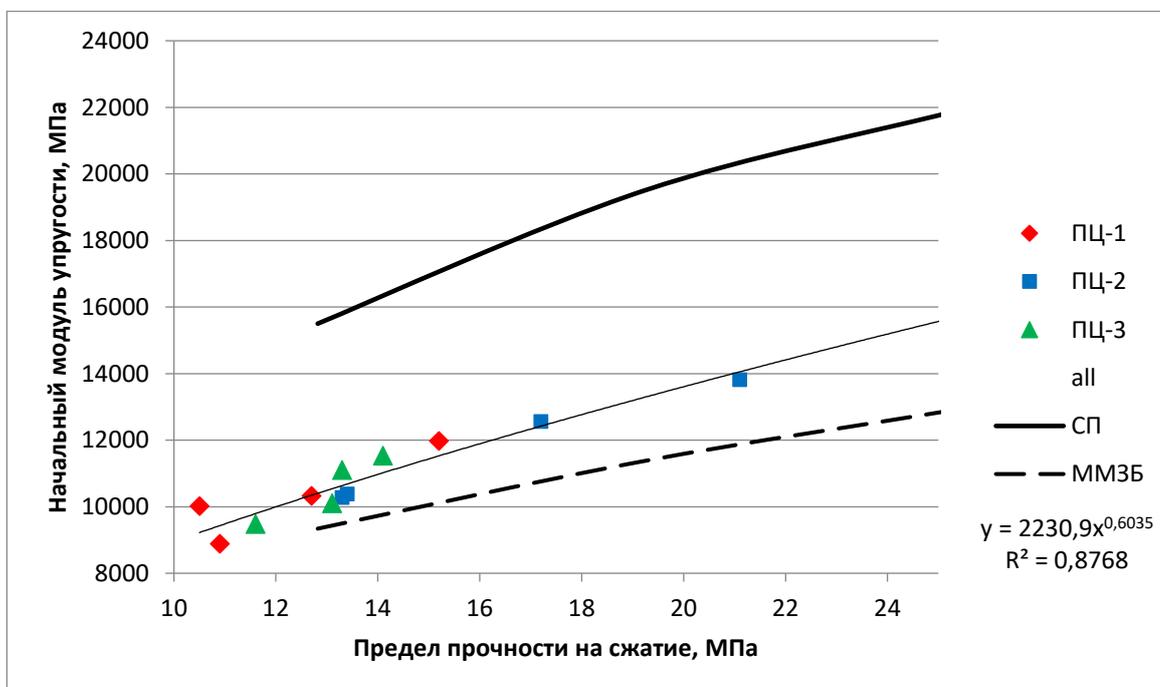


Рисунок 3.3 – Взаимосвязь между начальным модулем упругости строительного раствора и пределом прочности на сжатие;

СП – по СП 63.13330, таблица 6.11 для МЗБ естественного твердения;

ММЗБ – по данным [111] для МЗБ с ВУ, РПП и суперпластификаторами

На рисунке 3.4 представлена взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе и сцеплением строительного раствора с бетонным основанием, а на рисунке 3.5 – в зависимости от дозировки РПП.

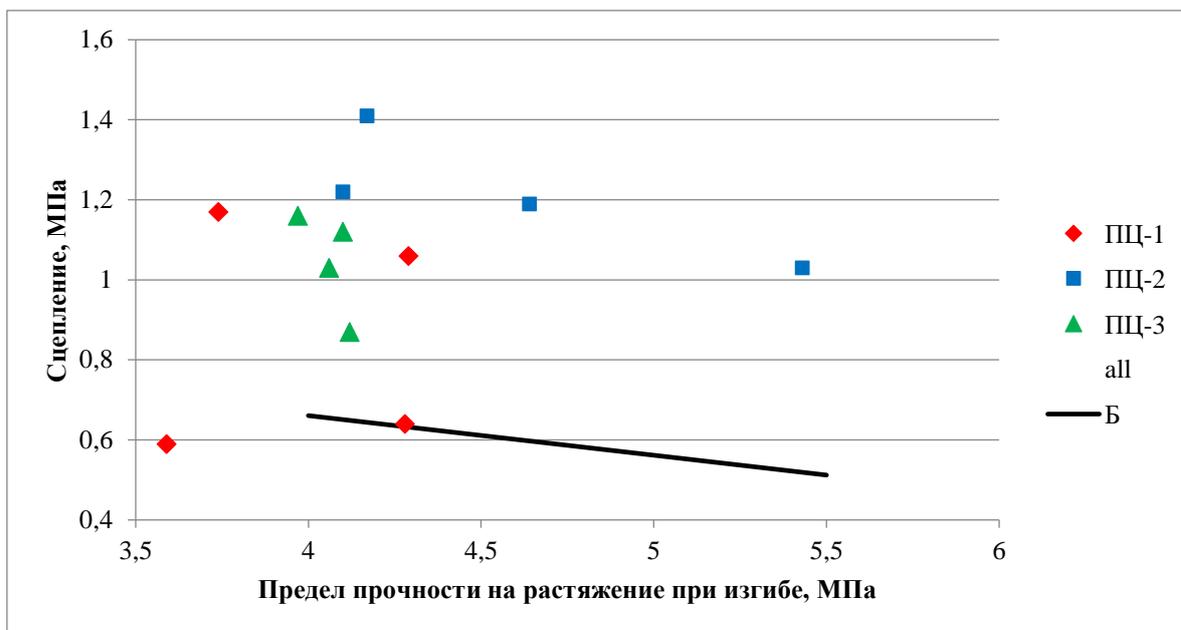


Рисунок 3.4 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и пределом прочности на растяжение при изгибе;

Б – по данным [22, 23]

По изображенным на рисунке 3.4 данным, не наблюдается определенной взаимосвязи между пределом прочности на растяжение при изгибе строительного раствора и сцеплением с бетонным основанием. Отмечен характер некоторого снижения сцепления с бетонным основанием при росте предела прочности на изгиб, что согласуется с данными [22,23].

Из представленных на рисунке 3.5 данных следует:

- зависимость между величиной сцепления и дозировкой РПП неопределенная, в зависимости от вида цемента и дозировки РПП, наблюдается как повышение сцепления, так и снижение с ростом дозировки;

- зафиксировано наибольшее возрастание сцепления строительного раствора с бетонным основанием при вводе РПП на 37% (ПЦ-2, 2% РПП), что соответствует данным [112], согласно которым повышение сцепления составляет в основном 28 – 38%.

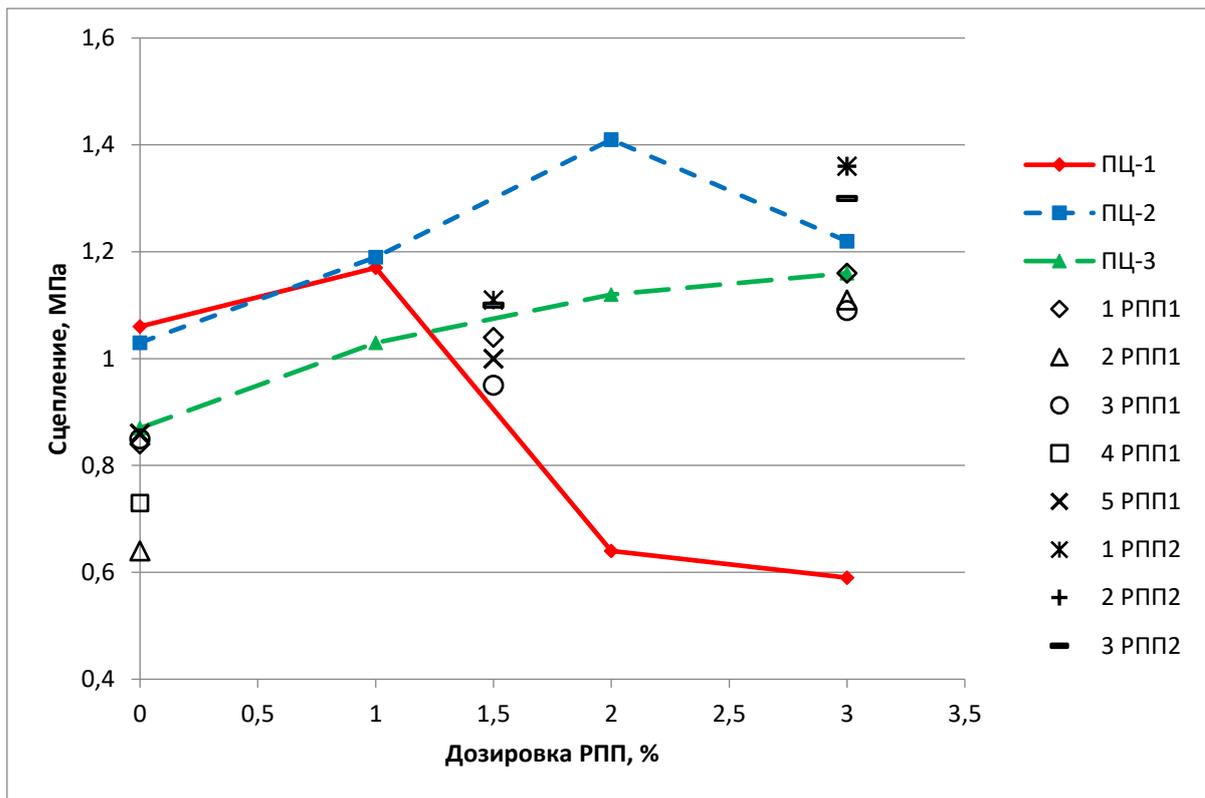


Рисунок 3.5 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и дозировкой РПП;

ПЦ-1; (2; 3) – данные исследований;

1 РПП 1 – по данным [112], где 1...5 – вид водоудерживающей добавки;

РПП 1, РПП 2 – тип РПП

Анализ данных, полученных в результате исследований, показал:

1. Ввод в состав строительного раствора РПП в количестве от 0 до 3% от массы сухой смеси привел к снижению предела прочности на сжатие до 40%, предела прочности на растяжение при изгибе до 15%, к снижению начального модуля упругости до 26% и росту сцепления строительного раствора с бетонным основанием до 37%.

2. Функция  $R_f = a \cdot R^b$ , описывающая взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе  $R_f$  и пределом прочности при сжатии  $R$  для исследованных материалов инвариантна к виду цемента и РПП.

3. Нет четкой взаимосвязи между величиной сцепления строительного раствора с бетонным основанием  $A_{сц}$  и дозировкой РПП, в соответствии с видом

цемента возможно как возрастание сцепления с ростом дозировки, так и ослабление сцепления. С повышением предела прочности строительного раствора на растяжение при изгибе  $R_f$  отмечается слабая тенденция к снижению величины  $A_{сц}/R_f$ .

### **3.2 Воздействие ретиспергируемых порошков различной дозировки и типа низкомодульных включений на свойства строительного раствора**

Для обеспечения надежности и долговечности конструкций, состоящих из материалов с различными свойствами (штукатурные покрытия, плитка и бетон, ремонт и реконструкция бетонного основания и т.п.), необходимо создать надежное сцепление слоев. В этой связи большое значение имеют деформационные свойства покрытий. Для получения требуемых свойств материалов для покрытий, предлагается способ введения в состав сухих смесей модификаторов на основе полимеров и низкомодульных включений.

Низкомодульные включения (НМВ) управляют структурообразованием строительных растворов различного назначения, полученных из ССС на цементном вяжущем, улучшают свойства смеси, повышают морозостойкость строительного раствора, НМВ обладают демпфирующим действием [8, 11, 63]. В качестве НМВ в исследовании используются воздухововлекающие добавки (ВВ) и зольные микросферы (МС). Отметим ряд достоинств МС по сравнению с ВВ: при введении в состав смеси МС, объем НМВ не будет зависеть от условий перемешивания и изменяться во времени.

Цель исследования – выявление определенных закономерностей воздействия на свойства строительного раствора исследуемых РПП и цементов при одновременном введении с НМВ. Актуальной задачей является получение количественных показателей, характеризующих эффективность данных модифицирующих добавок. В таблице 3.3 показаны результаты испытаний в возрасте 28 суток твердения в нормальных условиях.

Таблица 3.3 – Результаты измерения механических свойств строительных растворов

Виды цементов	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Механические свойства растворов, Мпа			
			R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
ПЦ-1 + РП-3	-	0	15,2	4,29	11975	1,06
		1	10,5	3,74	10010	1,17
		2	12,7	4,28	10320	0,64
		3	10,9	3,59	8885	0,59
ПЦ-2 + РП-4		0	21,1	5,43	13810	1,03
		1	17,2	4,64	12553	1,19
		2	13,4	4,17	10382	1,41
		3	13,3	4,1	10270	1,22
ПЦ-3 + РП-5		0	14,1	4,12	11530	0,87
		1	13,3	4,06	11096	1,03
		2	13,1	4,1	10097	1,12
		3	11,6	3,97	9475	1,16
ПЦ-1 + РП-3	ВВ	0	8,5	3,35	8309	0,66
		1	10,1	3,49	9150	0,48
		2	9,1	3,63	8919	1,06
		3	10,8	3,84	9197	0,87
ПЦ-2 + РП-4		0	15,8	4,12	11303	0,2
		1	12,6	4,08	9722	1,23
		2	14,6	4,28	10553	1,22
		3	12,9	4,06	10562	1,31
ПЦ-3 + РП-5		0	14,3	4,11	11431	0,58
		1	13,8	4,38	11046	0,89
		2	12,4	3,94	10619	1,3
		3	11,4	3,92	9491	1,22

Продолжение таблицы 3.3.

Виды цементов	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
ПЦ-1 + РП-3	МС	0	14,5	4,14	11128	1,16
		1	11,6	3,87	9061	0,97
		2	10,6	3,53	8499	0,94
		3	9,9	3,47	8375	0,44
ПЦ-2 + РП-4		0	19,4	5,24	13369	0,79
		1	13,3	4,36	11723	0,68
		2	13,6	4,18	10296	0,97
		3	10,8	4,02	9542	1,37
ПЦ-3 + РП-5		0	15,6	3,9	11109	0,92
		1	12,3	4,01	9825	0,99
		2	10,5	3,78	9082	0,88
		3	9,7	3,8	8402	0,96

На рисунке 3.6 представлена взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе и пределом прочности на сжатие  $R_f = f(R)$ .

На основе данных, представленных в таблице 3.3 и на рисунке 3.6, видно:

- зависимость  $R_f = f(R)$  является довольно универсальной. Рассмотрим величину  $1 - R^2$ , которая изображена на рис. 3.6, она дает представление о проценте дисперсии и составляет для составов ПЦ-1 и ПЦ-2 менее 20%, а для всех видов цементов она составляет менее 15%. Процент дисперсии не указывает на регрессию, а выражает тесную взаимосвязь между пределами прочности на изгиб и на сжатие;

- полученная в исследовании взаимосвязь  $R_f = f(R)$  для всех видов цементов принципиально согласуется с зависимостями, приведенными в [22, 23, 110].

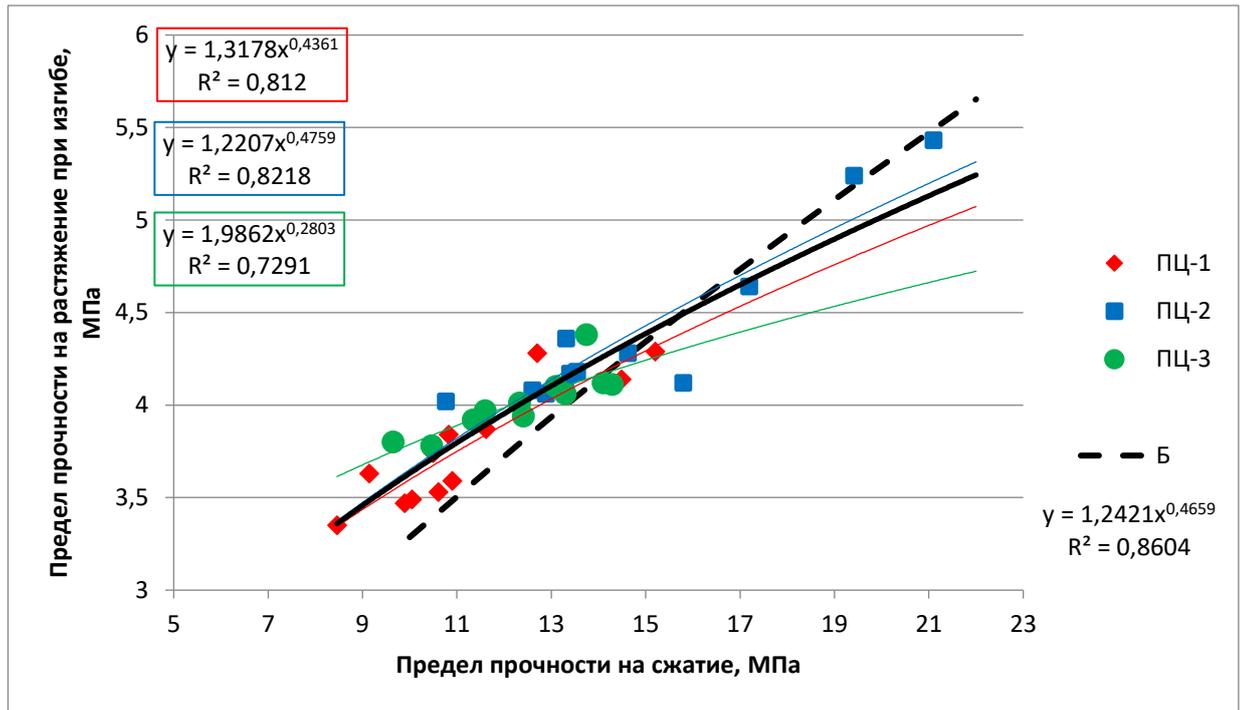


Рисунок 3.6 – Взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе и пределом прочности на сжатие: ПЦ1, (2; 3)– виды цементов;

Б – по данным [110] для МЗБ с органоминеральным модификатором

На рисунках 3.7 и 3.8 представлены взаимосвязи между пределами прочности строительного раствора и дозировкой РПП, а также видом низкомолекулярных включений.

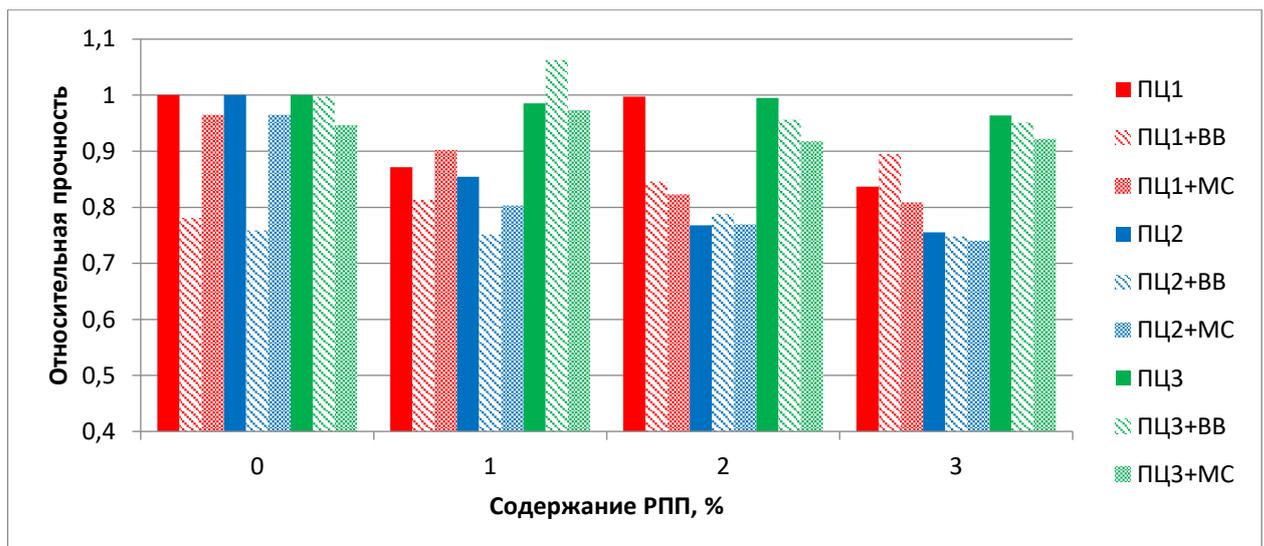


Рисунок 3.7 – Взаимосвязь между дозировкой РПП и относительным пределом прочности на растяжение при изгибе строительного раствора, содержащего НМВ; ПЦ1, (2; 3) – виды цементов; ВВ, МС – виды НМВ

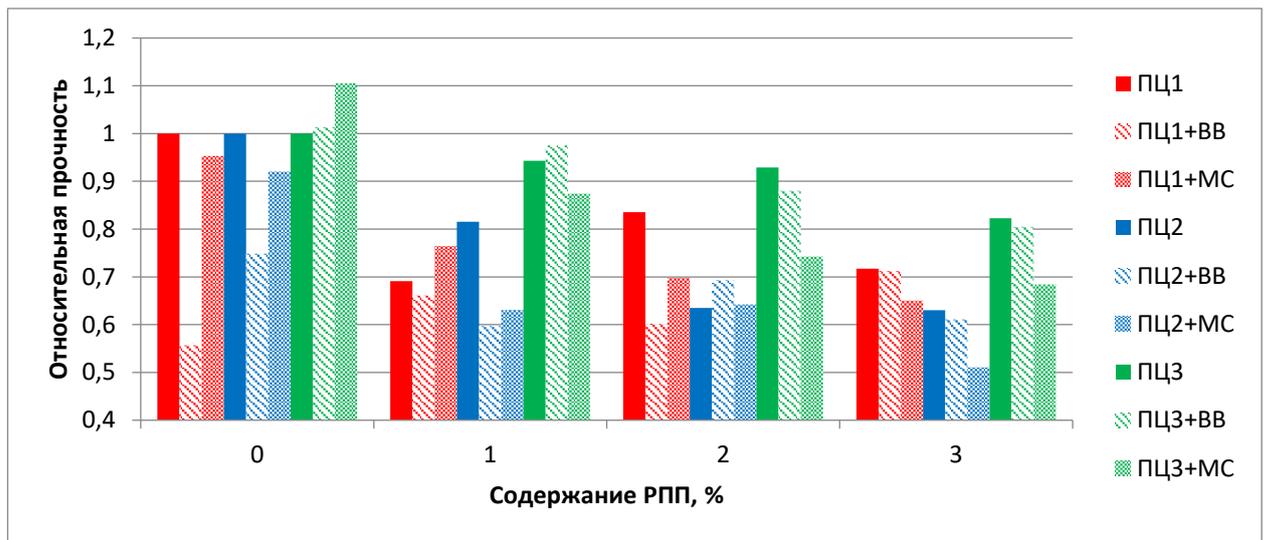


Рисунок 3.8 – Взаимосвязь между дозировкой РПП и относительным пределом прочности на сжатие строительного раствора, содержащего НМВ

По данным, показанным на рис 3.7 и 3.8, вытекает следующее:

- совместным характером пределов прочности является снижение их значений с ростом дозировки РПП и включении НМВ. В соответствии с видом цемента в составах без НМВ, снижение предела прочности на растяжение при изгибе варьируется в диапазоне от 4% (для ПЦ3) до 25% (для ПЦ2). Снижение предела прочности при сжатии соответственно в интервале от 18% до 37%, что указывает на большое влияние РПП на предел прочности на сжатие;

- при введении в состав строительного раствора НМВ совместно с РПП, происходит еще уменьшение прочности, в совокупности наибольший спад прочности на изгиб достигает 25%, при сжатии до 50%.

На рис. 3.9 изображена взаимосвязь между модулем упругости строительного раствора и пределом прочности на сжатие.

По приведенным на рис. 3.9 данным можно отметить:

- начальный модуль упругости строительного раствора устанавливается в соответствии с пределом прочности на сжатие;

- введение в состав строительного раствора совместно с РПП низко модульных включений приводит к снижению начального модуля упругости до 40%.

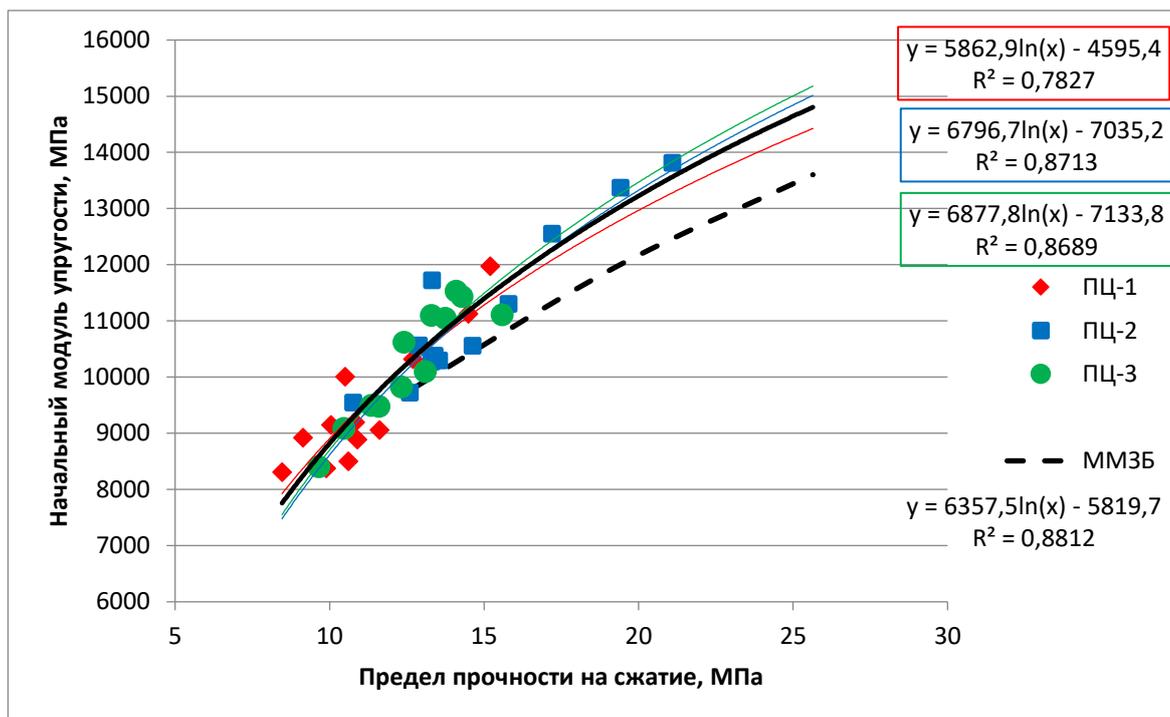


Рисунок 3.9 – Взаимосвязь между начальным модулем упругости строительного раствора и пределом прочности на сжатие;

ПЦ1, (2; 3) – виды цементов; ММЗБ – для МЗБ с органоминеральным модификатором по данным [111]

На рисунке 3.10 представлена взаимосвязь между сцеплением строительного раствора, содержащего НМВ и дозировкой РПП.

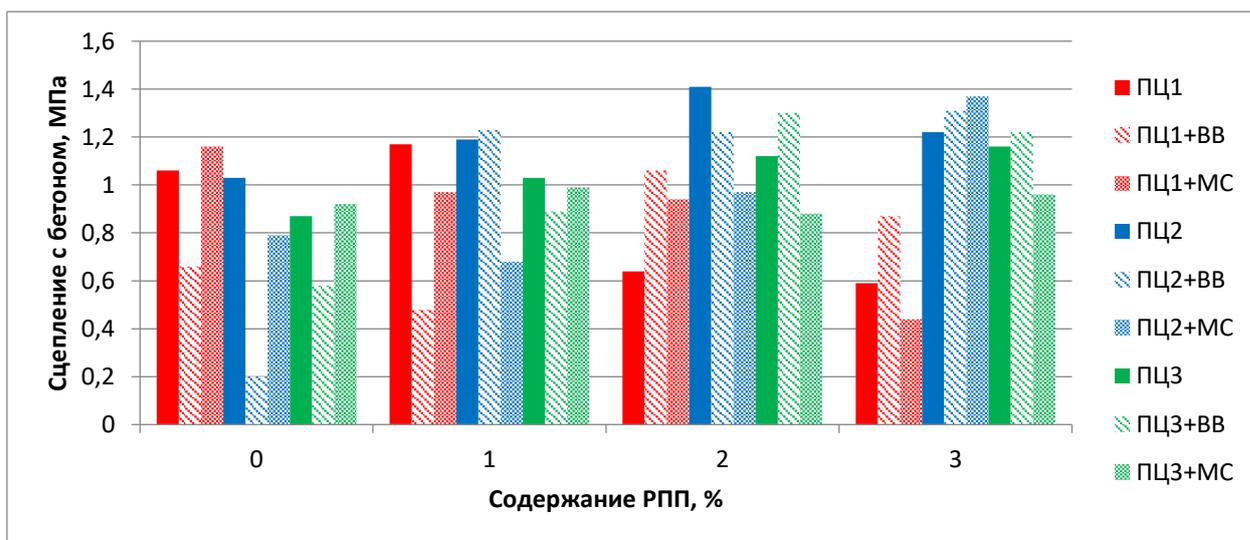


Рисунок 3.10 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора, содержащего НМВ и дозировкой РПП;

ПЦ1, (2; 3) – виды цементов; ВВ, МС – виды НМВ

По данным, казанным на рисунке 3.10 видно:

- взаимосвязь величины сцепления строительного раствора с бетонным основанием и дозировкой РПП неоднозначна, в зависимости от вида цемента наблюдается как понижение сцепления, так и его рост до 33%, что согласуется с некоторыми данными [112,163];
- для гарантии наибольшего сцепления требуется индивидуальный подбор дозировки РПП для каждого вида цемента. При введении в строительный раствор совместно РПП и НМВ, максимальное повышение сцепления составило 49% в композиции ПЦ3+ВВ+2%РПП.

В процессе эксплуатации строительные растворы различного назначения на цементном вяжущем, подвергаются воздействиям различных температур. Предлагается рассмотреть в качестве показателя, характеризующего надежность сцепления строительного раствора с основанием, условный относительный уровень напряжений:

$$u(\sigma) = \frac{\Delta\varepsilon \cdot E_0}{R_t \cdot (1 + \varphi)}, \quad (3.2)$$

$\Delta\varepsilon$  – разность деформаций строительного раствора и основания, исходя из различия величин коэффициентов линейного температурного расширения и температурного градиента;

$E_0$  – начальный модуль упругости строительного раствора;

$R_t$  – предел прочности состава на растяжение;

$\varphi$  – коэффициент ползучести.

На рисунке 3.11 представлена взаимосвязь между заданным показателем модифицированного раствора, содержащего НМВ и дозировкой РПП при  $\varphi = 0$ .

На основании данных, изображенных на рисунке 3.11, следует:

- установлена тенденция к снижению величины  $u(\sigma)$  при росте дозировки РПП, а также при одновременном включении РПП и НМВ. В зависимости от вида цемента отмечается и повышение величины  $u(\sigma)$ .
- снижение величины  $u(\sigma)$  достигает от 5 до 21%.

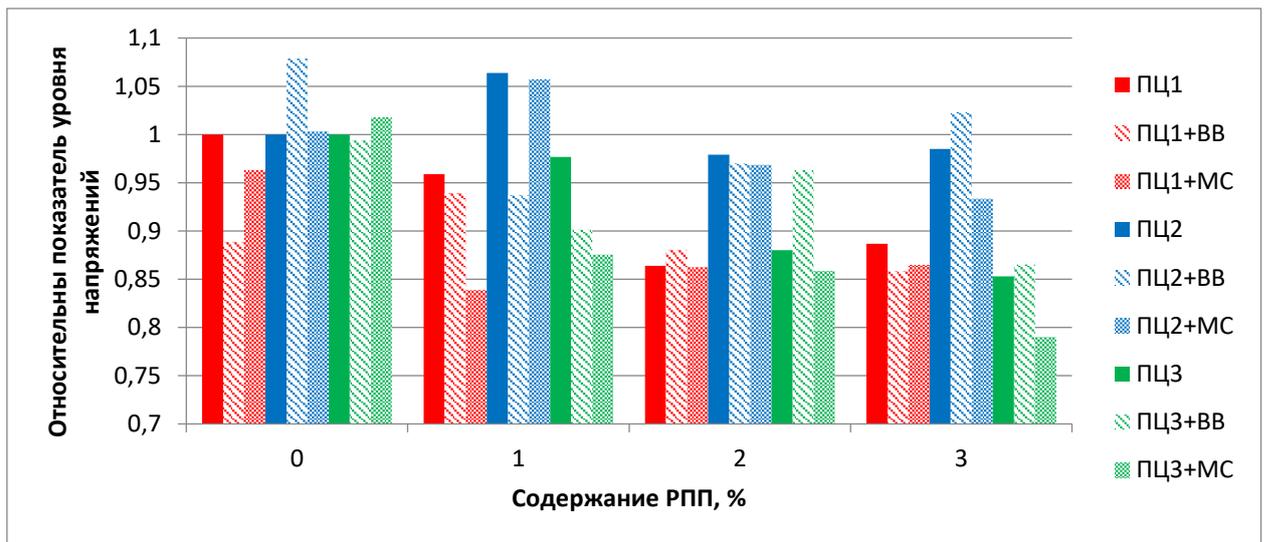


Рисунок 3.11 – Взаимосвязь между относительным показателем уровня напряжений при знакопеременном температурном воздействии строительного раствора, содержащего НМВ и дозировкой РПП; ПЦ1, (2; 3) – виды цементов; ВВ, МС – виды НМВ

Можно сделать вывод, что величина  $u(\sigma)$  может являться фактором, характеризующим улучшения свойств контактной зоны, в том числе морозостойкости.

Проанализировав данные, полученные в результате исследований, строительных растворов с комплексной добавкой РПП и НМВ, включающей в себя ВВ и МС, можно сделать выводы:

1. Корреляция  $R_f = 1,24 \cdot R^{0,47}$ , дает представление о связи между пределом прочности на растяжение при изгибе  $R_f$  и на сжатие  $R$ , на которую оказывает воздействие вид цемента, дозировка РПП и тип НМВ;
2. Соотношение  $R_f = 6358 \cdot \ln R - 5820$  показывает взаимосвязь между начальным модулем упругости  $E_0$  строительного раствора и пределом прочности на сжатие  $R$ .
3. В строительных растворах с РПП наблюдается снижение прочности на растяжение при изгибе от 4% до 25%, прочности при сжатии от 18% до 37%. При введении в состав смеси НМВ совместно с РПП происходит дополнительное снижение прочности: до 25% на изгиб, до 50% на сжатие.

4. Дозировка РПП влияет на показания сцепления строительного раствора с бетонным основанием. В зависимости от вида цемента наблюдается как понижение сцепления, так и его рост до 33%. В данном исследовании установлено при совместном вводе в состав РПП и НМВ наибольший рост сцепления до 49%. При этом для каждого вида цемента для наибольших показателей сцепления требуется индивидуальный подбор дозировки РПП.

### **3.3 Воздействие редиспергируемых порошков различной дозировки на свойства строительного раствора после многократного замораживания-оттаивания**

Влияние циклов замораживания-оттаивания на свойства строительных растворов с редиспергируемыми порошками в качестве модифицирующих добавок недостаточно изучено. Поэтому исследования воздействия РПП различной дозировки на свойства строительных растворов различного назначения является актуальной задачей.

Целью исследования является изучение влияния дозировки РПП на свойства строительного раствора после 28 суток твердения в НУ и после 75 циклов замораживания-оттаивания. В таблице 3.4 показаны результаты испытаний.

В таблице 3.5 представлено относительное сцепление строительного раствора с бетонным основанием. За относительное сцепление принято отношение сцепления строительного раствора с бетонным основанием после 75 циклов к значениям сцепления в возрасте 28 суток.

Таблица 3.4 – Результаты определения механических свойств строительных растворов

Цементы	Дозировка РПП, %	Сутки / циклы	Механические свойства растворов, МПа			
			R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
ПЦ-1+ РП-3	0	28 с	15,2	4,29	11975	1,06
		75 ц	15,9	5,01	13130	1,24
	1	28 с	10,5	3,74	10010	1,17
		75 ц	12,02	4,27	10730	1,07
	2	28 с	12,7	4,28	10320	0,64
		75 ц	11,64	4,15	10639	1,14
	3	28 с	10,9	3,59	8885	0,59
		75 ц	10,3	3,87	8932	1,15
ПЦ-2+ РП-4	0	28 с	21,1	5,43	13810	1,03
		75 ц	21,58	5,32	13934	1,24
	1	28 с	17,2	4,64	12553	1,19
		75 ц	18,47	4,64	12597	1,29
	2	28 с	13,4	4,17	10382	1,41
		75 ц	14,04	4,41	10239	1,29
	3	28 с	13,3	4,1	10270	1,22
		75 ц	11,73	4,09	10134	0,58
ПЦ-3+ РП-5	0	28 с	14,1	4,12	11530	0,87
		75 ц	16,1	4,35	12702	0,98
	1	28 с	13,3	4,06	11096	1,03
		75 ц	13,68	4,1	11043	1,31
	2	28 с	13,1	4,1	10097	1,12
		75 ц	12,0	4,0	9903	0,96
	3	28 с	11,6	3,97	9475	1,16
		75 ц	11,5	4,26	9773	1,12

Таблица 3.5 – Относительное сцепление строительного раствора с бетонным основанием

Дозировка РПП, %	$A_{75}/ A_{28}$		
	ПЦ-1	ПЦ-2	ПЦ-3
0	1,18	1,2	1,12
1	0,91	1,09	1,27
2	1,78	0,92	0,85
3	1,95	0,48	0,97

Взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе и пределом прочности на сжатие  $R_f = f(R)$  представлена на рисунке 3.12.

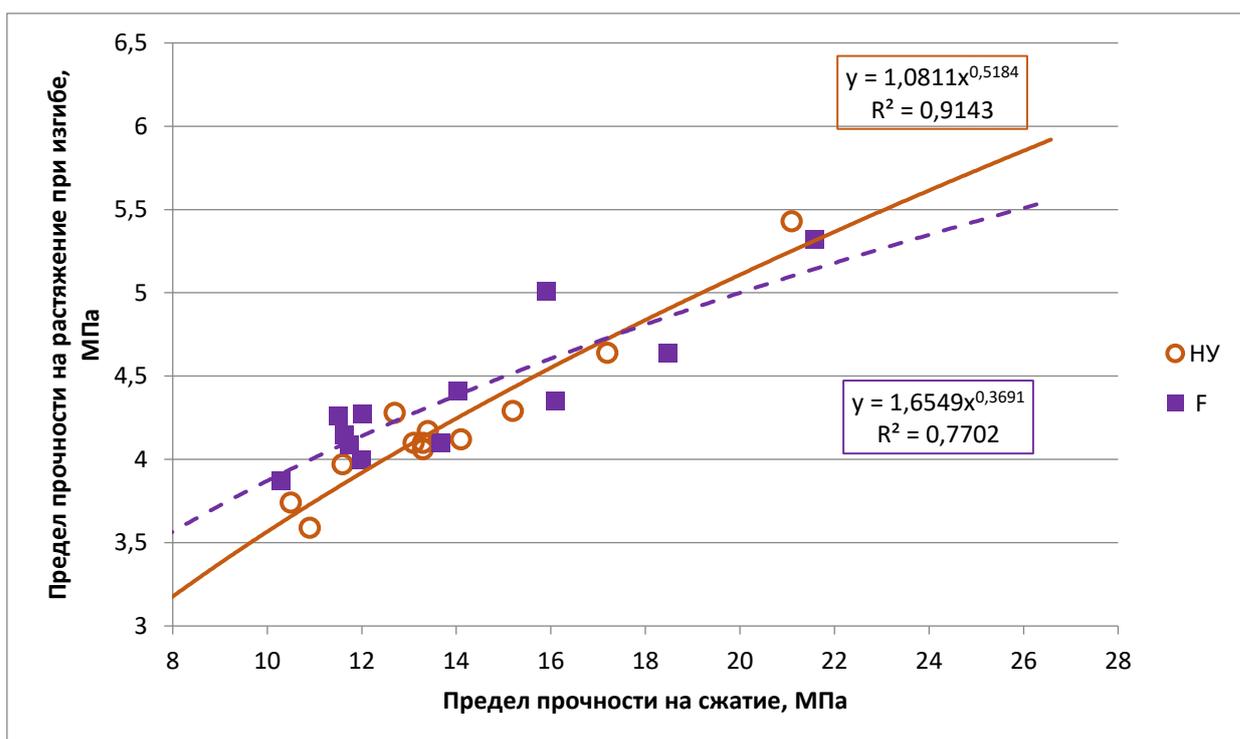


Рисунок 3.12 – Взаимосвязь между пределом прочности строительного раствора на растяжение при изгибе и пределом прочности на сжатие; НУ – после 28 суток твердения; F – после 75 циклов замораживания-оттаивания

По полученным в таблице 3.4 и на рисунке 3.12 показателям, можно заключить:

- имеется различие в соотношении  $R_f = f(R)$  между данными в возрасте 28 суток твердения в НУ и после 75 циклов замораживания-оттаивания, замечено снижение показателя  $R^2$  после 75 циклов замораживания-оттаивания (0,77 взамен 0,91);

- величина  $(1 - R^2)$ , по ранее указанным данным определяет процент дисперсии, не характеризующий регрессию, после 28 суток твердения в НУ составляет менее 10%. Вследствие чего можно сформулировать утверждение, что величина предела прочности на изгиб определяется пределом прочности строительного раствора на сжатие;

- значение  $(1 - R^2)$  после 75 циклов замораживания-оттаивания составляет более 20%, что говорит о том, что на зависимость  $R_f = f(R)$  после 75 циклов замораживания-оттаивания оказывают воздействие разные факторы. Зависимости, представленные на рисунке 3.12 сопоставимы с подобными зависимостями для МЗБ [22, 23, 110].

На рисунках 3.13 и 3.14 изображены взаимосвязи между пределом прочности строительного раствора и дозировкой РПП после 75 циклов замораживания-оттаивания. Величина относительной прочности установлена из отношения пределов прочности условий выдерживания: после 75 циклов замораживания-оттаивания, после 28 суток твердения в НУ.

По данным, изображенным на рисунках 3.13 и 3.14 следует:

- направления преобразования предела прочности на изгиб и сжатие у ПЦ-1 и ПЦ-3 с увеличением дозировки РПП сходны между собой, у ПЦ-2 качественно отличается;

- преобразование предела прочности на изгиб после 75 циклов испытаний допускает утверждение об отсутствии существенного развития деструктивных процессов;

- отмечена общая тенденция – с ростом дозировки РПП происходит снижение предела прочности строительного раствора на сжатие. В зависимости от вида цемента устанавливается значение предельной дозировки РПП, при котором значение предела прочности на сжатие спускается ниже 95%;

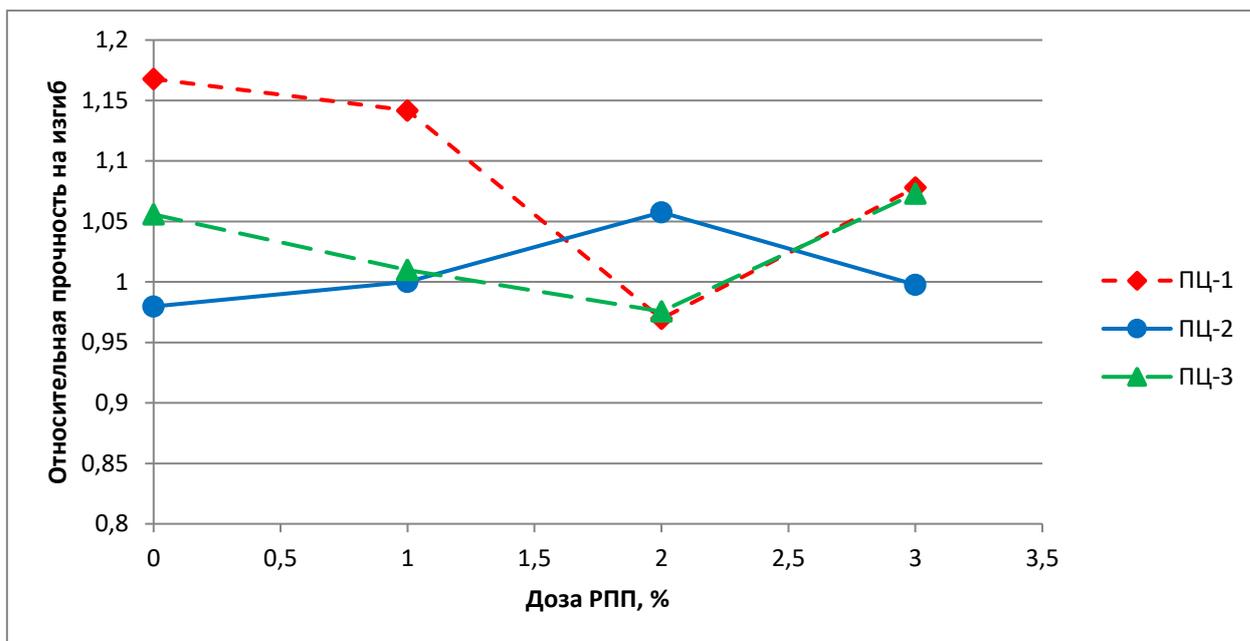


Рисунок 3.13 – Воздействие РПП различной дозировки на преобразование предела прочности на изгиб строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания; ПЦ-1; (2; 3) – виды цементов

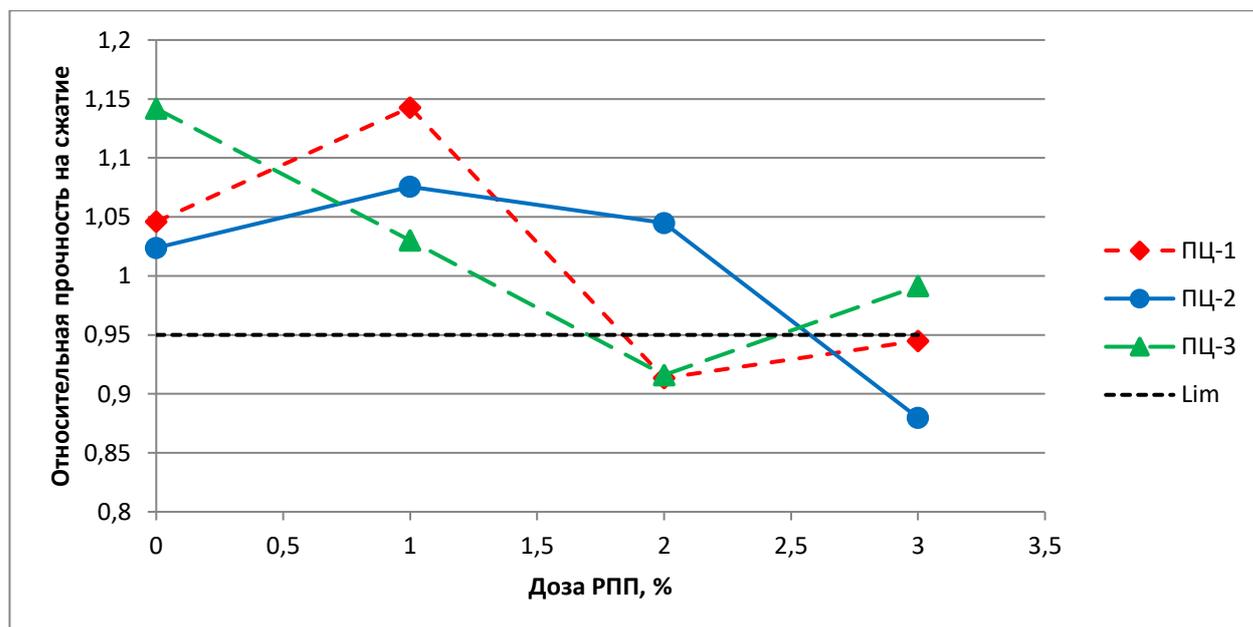


Рисунок 3.14 – Воздействие РПП различной дозировки на преобразование предела прочности на сжатие строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания; ПЦ-1; (2;3) – виды цементов; Lim – допустимое, согласно ГОСТ 10060, понижение прочности

- установлено оптимальное значение дозировки РПП – 2,5 % для всех видов ПЩ, при котором прочностные показатели строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания находятся в допустимых пределах.

Проанализировав результаты, представленные на рисунках 3.13 и 3.14, можно прийти к заключению, что в исследованных составах воспроизводятся известные закономерности изменения свойств строительных растворов, полученных из ССС на цементном вяжущем, с различными модифицирующими добавками [78,79,129, 161].

На рисунке 3.15 показана взаимосвязь между значениями начального модуля упругости строительного раствора и пределом прочности на сжатие после 28 суток твердения в нормальных условиях и после 75 циклов замораживания-оттаивания.

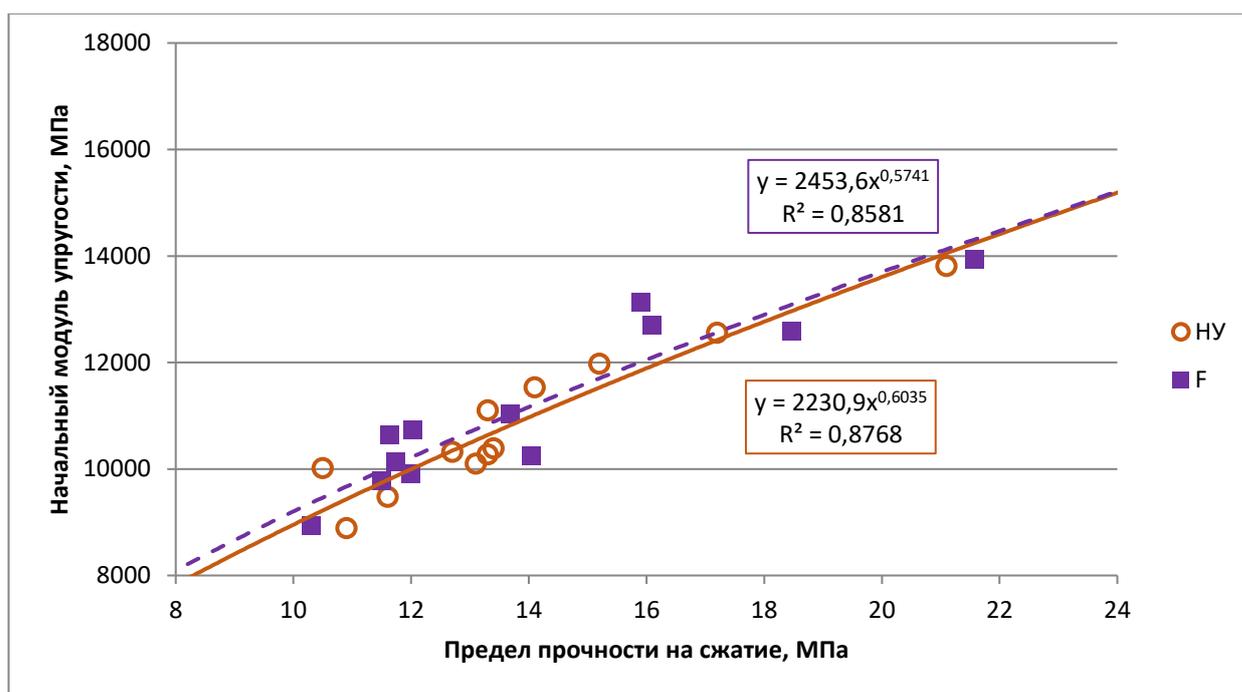


Рисунок 3.15 – Взаимосвязь между начальным модулем упругости строительного раствора и пределом прочности на сжатие;

НУ – после 28 суток в НУ;

F – после 75 циклов замораживания-оттаивания

По изображенным на рисунке 3.15 данным видно, что фактически сохраняется взаимосвязь предела прочности на сжатие после 75 циклов

замораживания-оттаивания и модуля упругости, что подтверждает высказанное ранее утверждение, что 75 циклов замораживания-оттаивания не повреждают структуру исследованных строительных растворов. Данные утверждения полностью совпадают с ранее полученными данными о корреляции начального модуля упругости от предела прочности на сжатие для мелкозернистых бетонов с модификаторами, в том числе РПП [111,112].

На рисунке 3.16 представлена взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и пределом прочности на растяжение при изгибе.

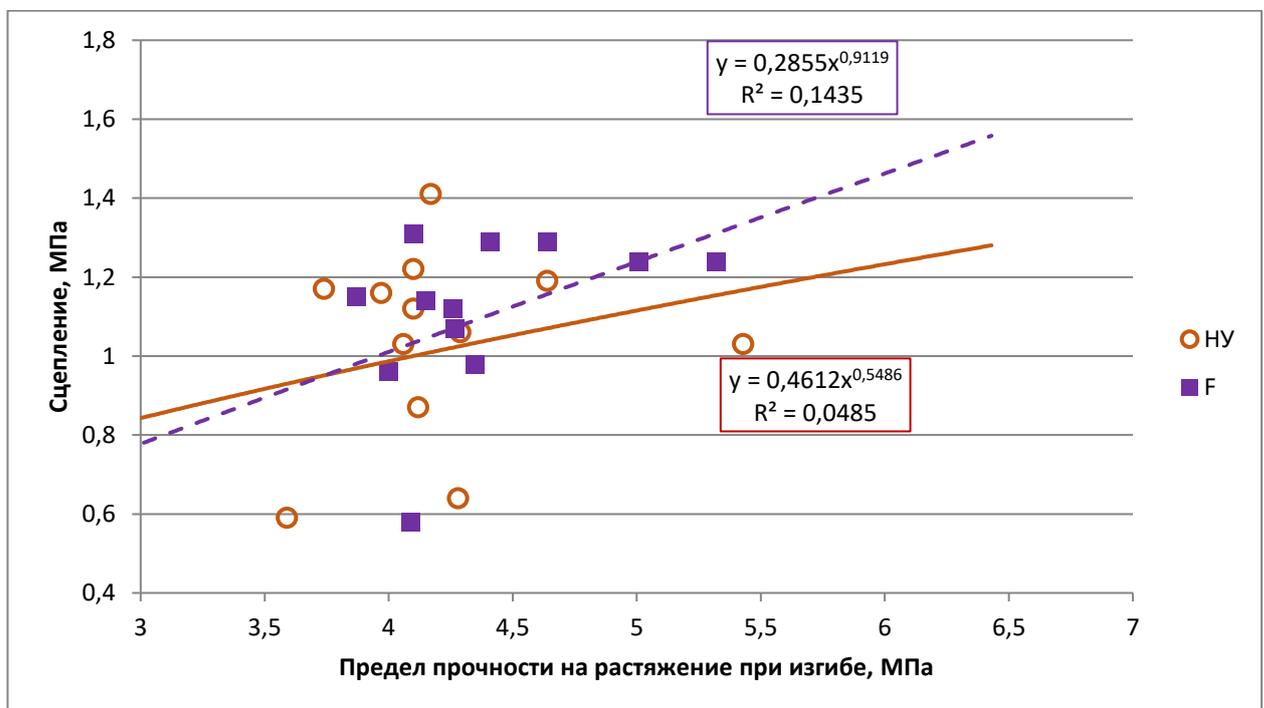


Рисунок 3.16 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и пределом прочности на растяжение при изгибе

По данным, изображенным на рисунке 3.16, видно:

- отсутствует явная взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе строительного раствора и сцеплением с бетонным основанием;
- при сравнении величин сцепления с бетонным основанием при разных условиях выдерживания составов, зафиксирован рост значений после 75 циклов, который составил 8-49%, зависящий от вида цемента и дозы РПП.

На рисунках 3.17 и 3.18 представлена взаимосвязь между сцеплением строительного раствора и дозировкой РПП.

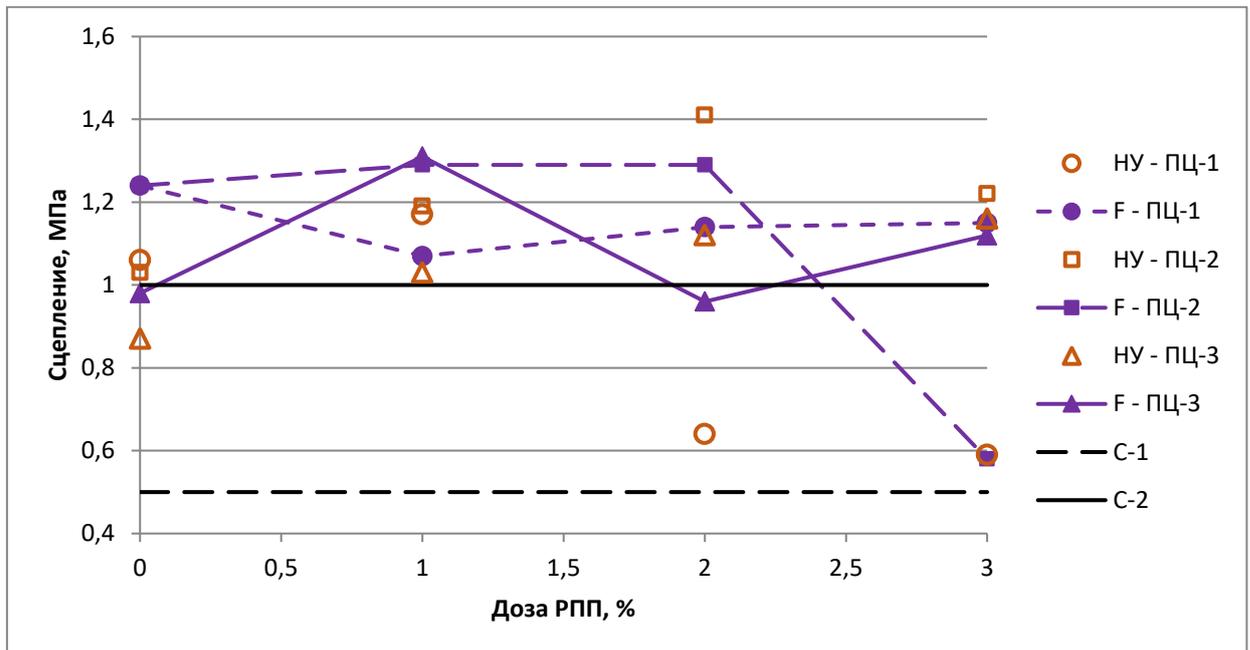


Рисунок 3.17 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и дозировкой РПП;

C-1; C-2 – сцепление с основанием 0,5 и 1 Мпа по ГОСТ Р 56387

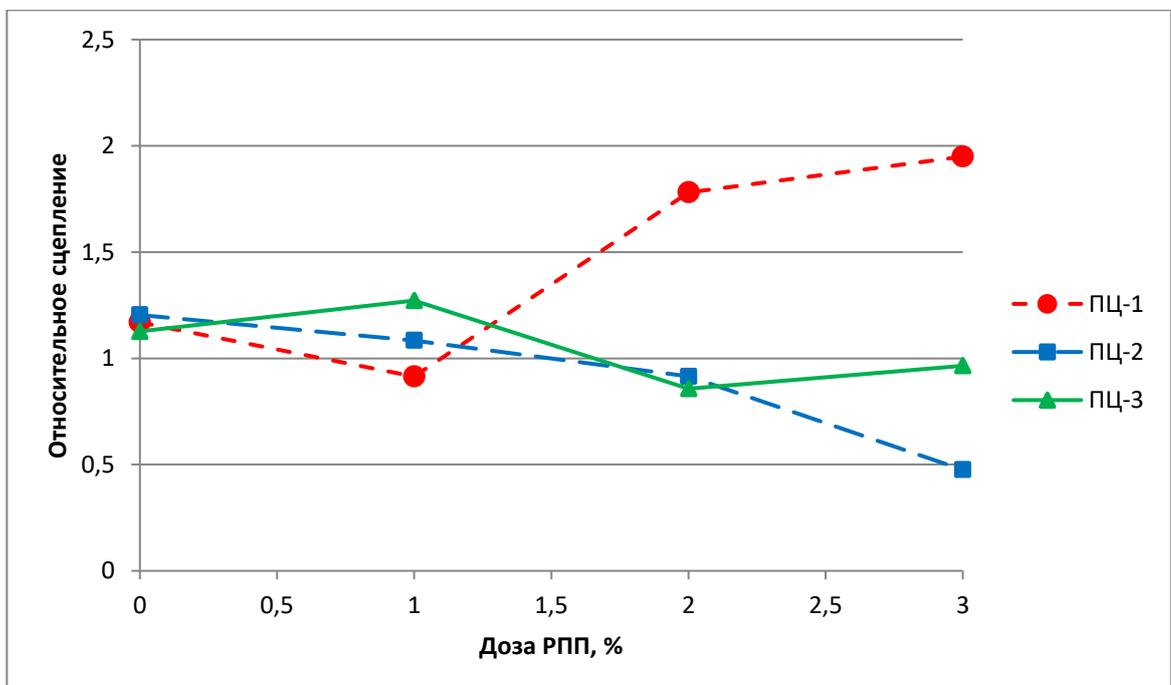


Рисунок 3.18 – Взаимосвязь между относительным сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и дозировкой РПП

По изображенным на рисунках 3.17 и 3.18 данным видно:

- независимо от факторов: вида цемента, дозы РПП и условий выдерживания, все исследуемые составы относятся к классу С-1;
- отмечается после 75 циклов замораживания-оттаивания в составах ПЦ-1 и ПЦ-3 соответствие классу С-2;
- не установлено отрицательного воздействия циклического замораживания-оттаивания на базе 75 циклов на величину сцепления с основанием, кроме цемента ПЦ-2 при дозировке РПП 3%;
- значительное увеличение относительного сцепления составов на основе ПЦ-1 объясняется не повышением сцепления после замораживания-оттаивания, а снижением сцепления при росте дозировки РПП после 28 суток твердения в НУ;
- независимо от вида цемента повышение дозы РПП до 2-3% не оказывает отрицательного воздействия на значение сцепления строительного раствора с основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания.

Проанализировав полученные данные, можно сказать:

1. Установлено, что ввод РПП в дозировке до 3% от массы сухой смеси приводит к снижению пределов прочности строительного раствора в зависимости от условий выдерживания (28 суток / 75 циклов): на сжатие до 37% / 46%, на растяжение при изгибе до 25% / 23%.
2. Происходит снижение начального модуля упругости строительного раствора, при возрастании дозировки РПП до 3% при тех же условиях выдерживания – до 26% / 32%.
3. Не обнаружено отрицательного воздействия на величину сцепления строительного раствора с бетонным основанием 75 циклов циклического замораживания-оттаивания.

### **3.4 Воздействие редиспергируемых порошков и низкомодульных включений на свойства строительного раствора после многократного замораживания-оттаивания**

В предыдущих исследованиях рассмотрено воздействие дозировки РПП на свойства строительного раствора после многократного замораживания-оттаивания. Целью дальнейших исследований является изучение влияния комплексной добавки РПП+НМВ на свойства строительного раствора в зависимости от условий выдерживания: после 28 суток твердения в НУ, после 75 циклов замораживания-оттаивания. Принципы воздействия замораживания-оттаивания на сцепление с основанием недостаточно исследованы и требуют продолжения изучения. В таблице 3.6 показаны результаты исследований.

Таблица 3.6 – Результаты определения механических свойств строительных растворов

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Сутки / циклы	Механические свойства растворов, Мпа			
				R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
ПЦ-1+ РП-3	ВВ	0	28 с	8,4	3,35	8309	0,66
			75 ц	11,3	3,98	9567	0,51
		1	28 с	10,1	3,49	9149	0,48
			75 ц	13,04	4,0	10521	1,09
		2	28 с	9,1	3,63	8919	1,06
			75 ц	12,2	3,98	9656	1,16
		3	28 с	10,8	3,84	9197	0,87
			75 ц	12,1	4,04	9467	1,19
ПЦ-2+ РП-4	ВВ	0	28 с	15,8	4,12	11303	0,2
			75 ц	16,3	4,27	10784	1,13
		1	28 с	12,6	4,08	9722	1,23
			75 ц	13,65	3,66	9793	1,09
		2	28 с	14,6	4,28	10554	1,22
			75 ц	12,5	4,3	10492	1,12
		3	28 с	12,9	4,06	10562	1,31

Продолжение таблицы 3.6

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Сутки / циклы	R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
ПЦ-3+ РП-5		0	28 с	14,3	4,11	11431	0,58
			75 ц	14,4	4,16	11012	1,26
		1	28 с	13,7	4,38	11046	0,89
			75 ц	12,1	3,67	10079	1,13
		2	28 с	12,4	3,94	10619	1,3
			75 ц	12,0	3,99	10038	1,07
		3	28 с	11,3	3,92	9491	1,22
			75 ц	11,9	3,83	9253	1,0
ПЦ-1+ РП-3	МС	0	28 с	14,5	4,14	11128	1,16
			75 ц	16,3	4,5	12394	0,44
		1	28 с	11,6	3,87	9061	0,97
			75 ц	13,18	4,16	10169	0,9
		2	28 с	10,6	3,53	8499	0,94
			75 ц	11,2	3,8	9005	0,95
		3	28 с	9,9	3,47	8375	0,44
			75 ц	11	3,74	8460	1,17
ПЦ-2+ РП-4		0	28 с	19,4	5,24	13369	0,79
			75 ц	21,6	5,04	13299	1,29
		1	28 с	13,3	4,36	11724	0,68
			75 ц	16,3	4,69	11080	0,99
		2	28 с	13,5	4,18	10296	0,97
			75 ц	12,2	4,6	10014	1,26
		3	28 с	10,8	4,02	9542	1,37
			75 ц	9,2	4,01	9999	1,09
ПЦ-3+ РП-5		0	28 с	15,6	3,9	11109	0,92
			75 ц	15,0	4,18	11103	1,13

Продолжение таблицы 3.6

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Сутки / циклы	R	R <sub>f</sub>	E <sub>0</sub>	A <sub>сц</sub>
		1	28 с	12,3	4,01	9825	0,99
			75 ц	13,3	4,16	10171	0,96
		2	28 с	10,5	3,78	9082	0,88
			75 ц	10,7	3,66	8539	1,02
		3	28 с	9,6	3,8	8402	0,96
			75 ц	9,03	3,42	7654	0,94

Относительное сцепление строительного раствора с бетонным основанием представлено в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Относительное сцепление строительного раствора с бетонным основанием

Вид НМВ	Дозировка РПП, %	A <sub>75</sub> / A <sub>28</sub>		
		ПЦ-1	ПЦ-2	ПЦ-3
ВВ	0	0,76	5,54	2,15
	1	2,26	0,89	1,27
	2	1,09	0,92	0,83
	3	1,37	1,07	0,82
МС	0	0,38	1,63	1,23
	1	0,92	1,45	0,97
	2	1,01	1,3	1,15
	3	2,64	0,8	0,99

Уравнения регрессии, показывающие взаимосвязь между  $R_f = f(R)$ , условиями выдерживания и видами НМВ, представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Взаимосвязь между  $R_f = f(R)$ , условиями выдерживания и видами НМВ

Условия выдерживания	Вид НМВ		
	Нет [117]	ВВ	МС
Твердение 28 сут в НУ	$R_f = 1,081 \cdot R^{0,518}$ $R^2 = 0,914$	$R_f = 1,537 \cdot R^{0,377}$ $R^2 = 0,8286$	$R_f = 1,366 \cdot R^{0,428}$ $R^2 = 0,694$
Твердение 28 сут в НУ + 75 циклов замораживания-оттаивания	$R_f = 1,655 \cdot R^{0,369}$ $R^2 = 0,77$	$R_f = 3,322 \cdot R^{0,075}$ $R^2 = 0,02$	$R_f = 1,563 \cdot R^{0,382}$ $R^2 = 0,737$

На рисунке 3.19 изображена взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе и пределом прочности на сжатие  $R_f = f(R)$ .

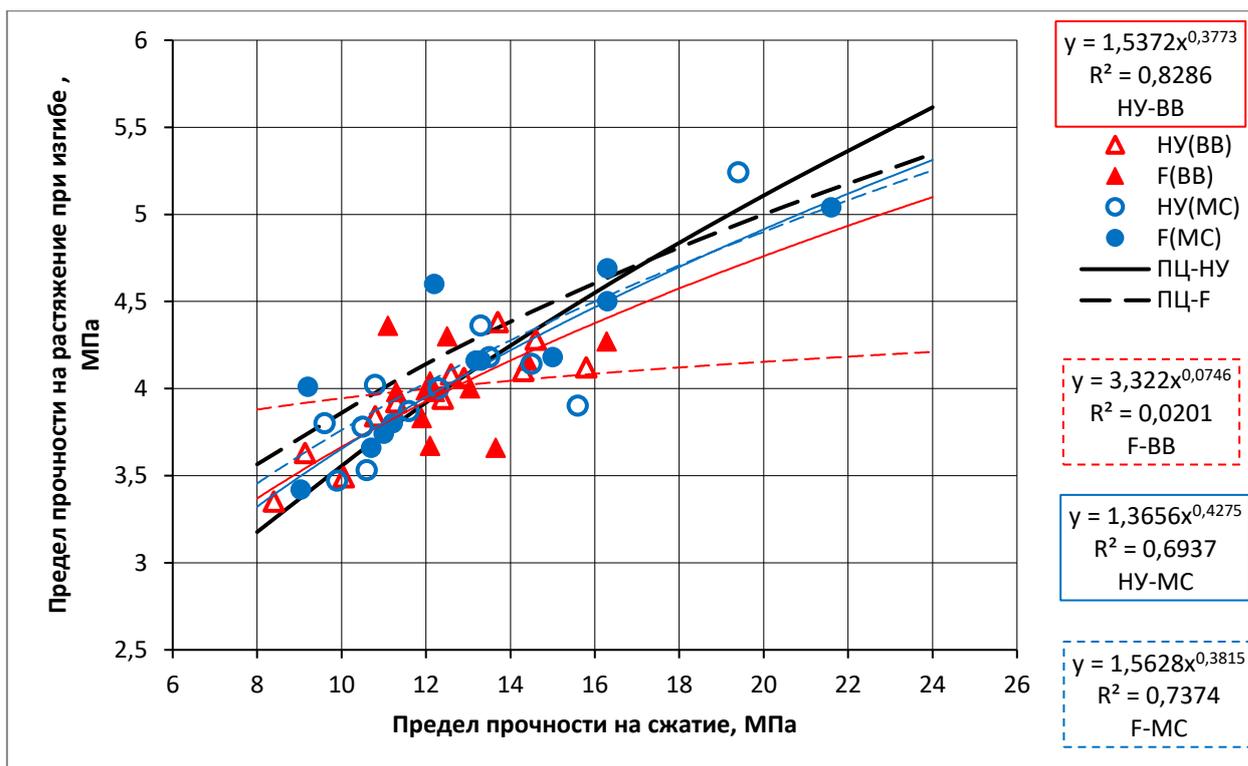


Рисунок 3.19 – Взаимосвязь между пределом прочности на растяжение при изгибе строительного раствора и пределом прочности на сжатие; НУ – после 28 суток твердения в нормальных условиях; F – после 75 циклов замораживания-оттаивания; ВВ – составы с воздухововлекающей добавкой; МС – с микросферой; ПЦ – составы без НМВ

По данным, показанным в таблице 3.8 и на рисунке 3.19, можно сделать выводы:

- вне зависимости от условий выдерживания соотношение  $R_f = f(R)$  в составах с НМВ остается неизменным, и подобно ранее определенной зависимости для строительного раствора без НМВ [117], также, оно хорошо соотносится с уже известными зависимостями для мелкозернистых бетонов [22,23,110];

- выявлено сильное снижение показателя  $R^2$  в составах с ВВ после 75 циклов замораживания-оттаивания, что свидетельствует о сильном влиянии вида цемента и РПП, его дозировки на развитие прочности при изгибе при заданных условиях выдерживания;

- в качестве добавки, повышающей морозостойкость показатели лучше у МС по сравнению с ВВ.

Применение в качестве низко модульного включения МС имеет преимущество по сравнению с ВВ, МС обеспечивает более устойчивый объем НМВ за счет дозировки в смеси, т.к. он зависит кроме дозировки, от технологии перемешивания и времени выдержки смеси. Поэтому полученный вывод о достоинстве использования МС в качестве НМВ является актуальным и полезным в практическом использовании.

На рисунках 3.20 и 3.21 изображены взаимосвязи между изменением предела прочности строительных растворов после 75 циклов замораживания-оттаивания и дозировкой РПП. Значение относительной прочности определено из отношения пределов прочности условий выдерживания: после 75 циклов замораживания-оттаивания, после 28 суток твердения в НУ.

При создании зависимостей исследуемых составов без НМВ от дозировки РПП использовались ранее изученные данные [117].

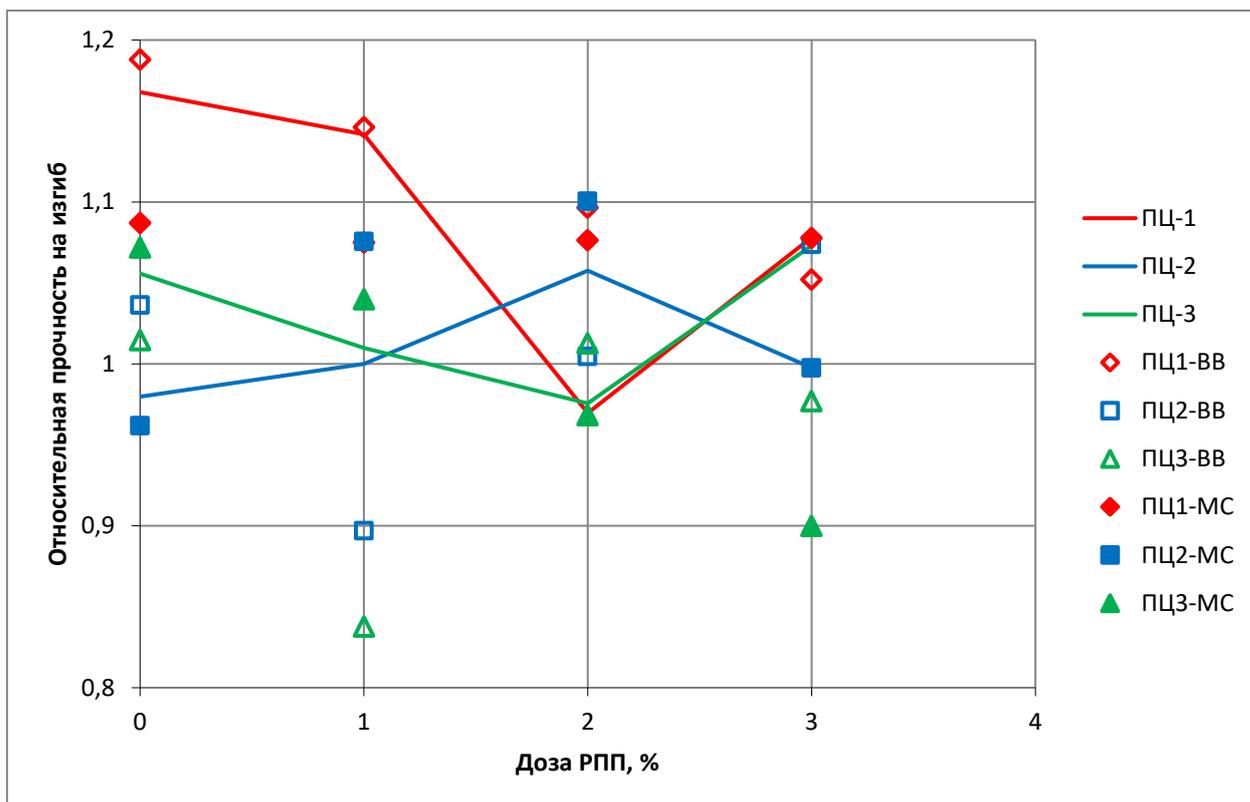


Рисунок 3.20 – Воздействие дозировки РПП на преобразование предела прочности на изгиб строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания; ПЦ-1; (2; 3) – составы без НМВ; ПЦ1-BV; (2-BV; 3-BV) – с воздухововлекающей добавкой; ПЦ1-МС; (2-МС; 3-МС) – с добавкой микросферы

По приведенным на рисунке 3.20 данным, следует, что сочетание НМВ и РПП содействует повышению прочности при изгибе после циклического замораживания-оттаивания. Лучшие показатели зафиксированы при дозировке РПП 2%. Подтверждается преимущество МС, особенно в составах ПЦ-2.

По приведенным на рисунке 3.21 данным, следует, что сочетание НМВ и РПП содействует повышению прочности на сжатие после циклического замораживания-оттаивания, но уровень влияния во многом зависит от вида цемента и РПП, его дозировки. В составах ПЦ-1 и ПЦ-2 лучшие показатели с добавкой МС.

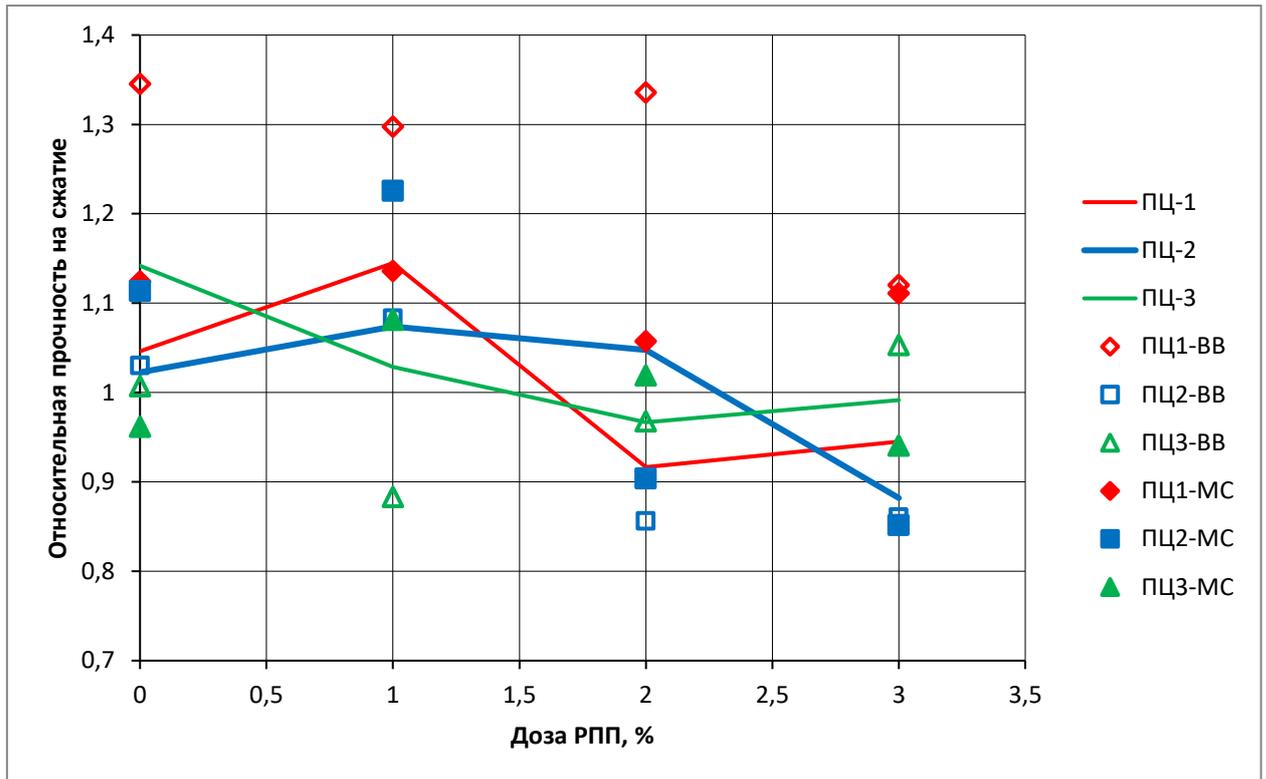


Рисунок 3.21 – Воздействие дозировки РПП на преобразование предела прочности на сжатие строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания

В таблице 3.9 показаны зависимости, отображающие взаимосвязь следующих параметров: начального модуля упругости строительного раствора с пределом прочности на сжатие  $E_0 = f(R)$ , вида НМВ и условий выдерживания.

Таблица 3.9 – Взаимосвязь начального модуля упругости с пределом прочности на сжатие по различным параметрам

Условия выдерживания	Вид НМВ		
	Нет [163]	ВВ	МС
Твердение 28 сут в НУ	$E_0 = 2230,9 \cdot R^{0,604}$ $R^2 = 0,877$	$E_0 = 2866,5 \cdot R^{0,503}$ $R^2 = 0,895$	$E_0 = 1833,9 \cdot R^{0,672}$ $R^2 = 0,897$
Твердение 28 сут в НУ + 75 циклов замораживания-оттаивания	$E_0 = 2453,6 \cdot R^{0,574}$ $R^2 = 0,858$	$E_0 = 5040 \cdot R^{0,274}$ $R^2 = 0,27$	$E_0 = 2411,9 \cdot R^{0,559}$ $R^2 = 0,793$

На рисунке 3.22 показано изменение значений начального модуля упругости строительного раствора по отношению к пределу прочности на сжатие при заданных условиях выдерживания.

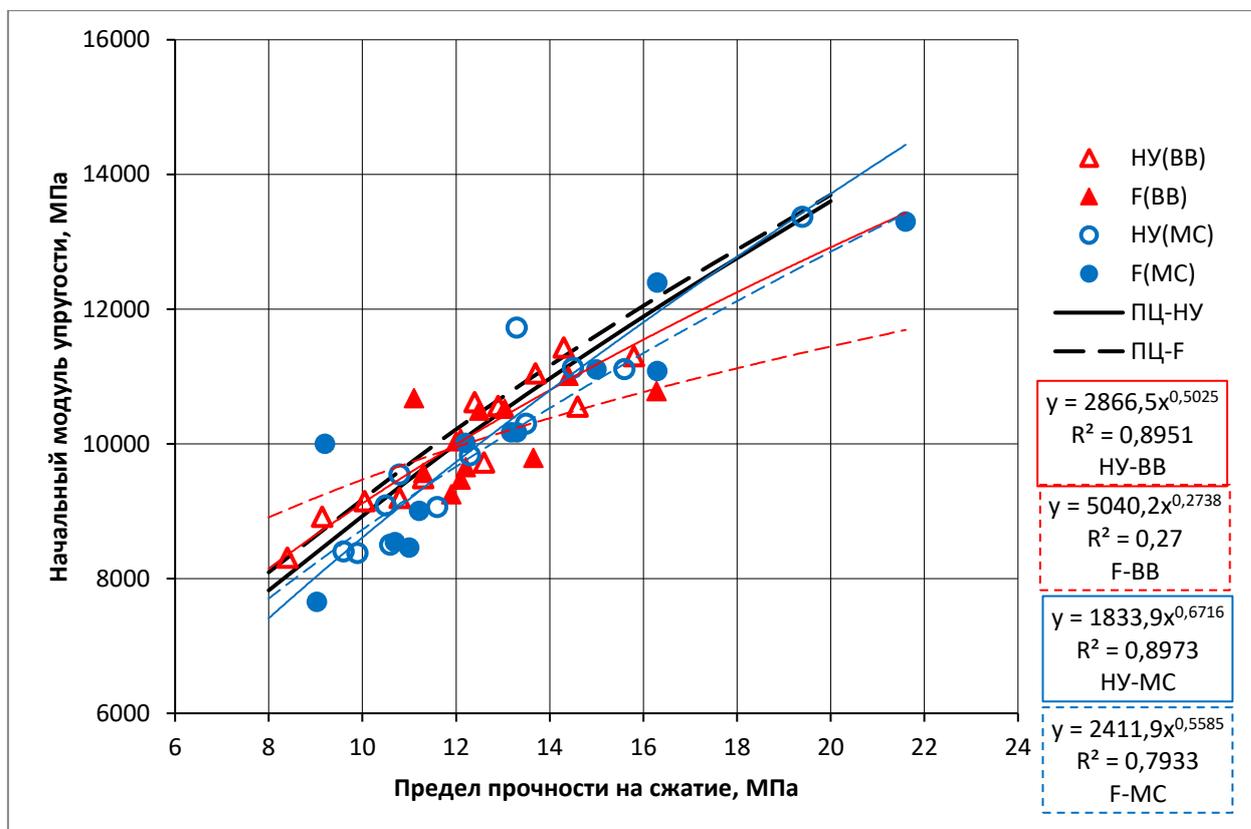


Рисунок 3.22 – Взаимосвязь между начальным модулем упругости строительного раствора и пределом прочности на сжатие;

НУ – после 28 суток твердения; F – после 75 циклов замораживания-оттаивания

По данным, показанным в таблице 3.9 и на рисунке 3.22, видно:

- ранее установленная взаимосвязь начального модуля упругости и предела прочности на сжатие для строительных растворов без НМВ практически не изменяется при введении в их состав в качестве низкомолекулярного включения МС, что доказывает утверждение о целостности структуры строительных растворов после 75 циклов замораживания-оттаивания. Полученные данные согласуются с исследованиями влияния НМВ на свойства строительных растворов и бетонов, где отмечается их положительное влияние [9,63,79];

- при введении в состав строительного раствора ВВ в качестве НМВ, зафиксировано сильное снижение величины  $R^2$ , подтверждающее существенное

влияние 75 циклов замораживания-оттаивания на преобразование начального модуля упругости следующих параметров: вид цемента и РПП, его дозировка;

- подтверждается преимущество МС по сравнению с ВВ, в качестве добавки, повышающей морозостойкость состава.

На рисунке 3.23 представлена взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и пределом прочности на растяжение при изгибе.

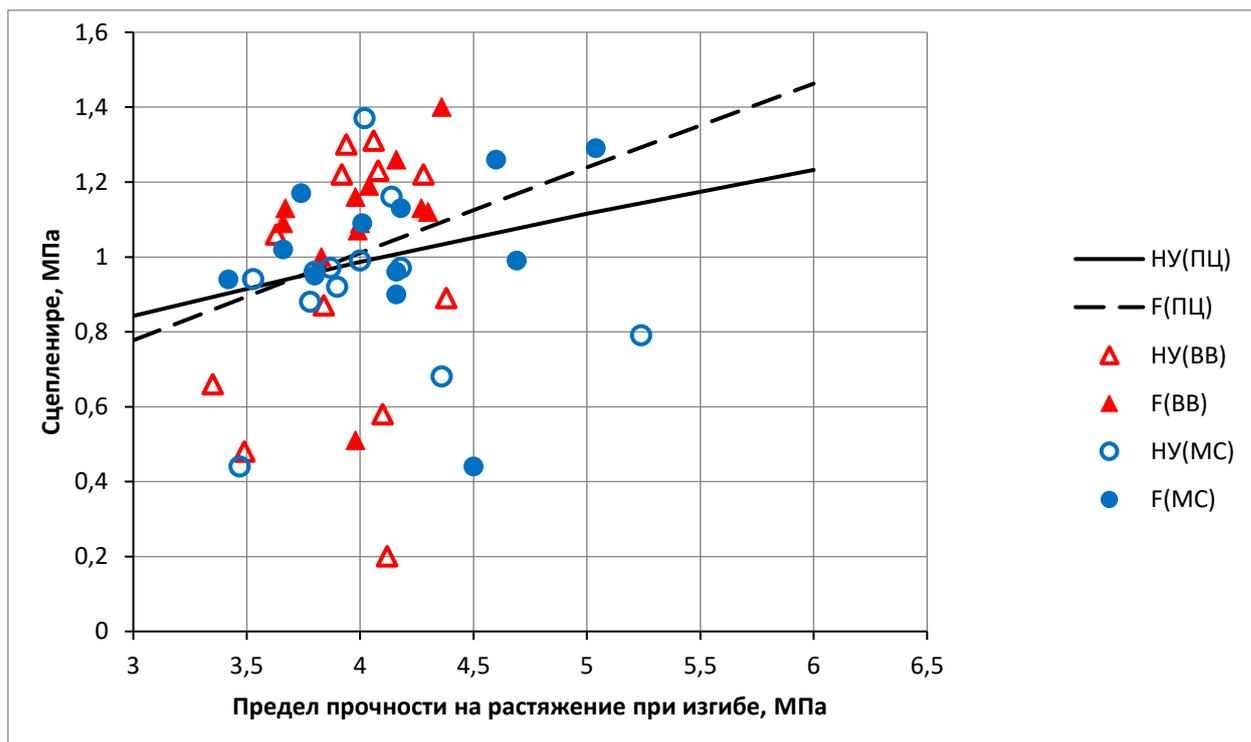


Рисунок 3.23 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и пределом прочности на растяжение при изгибе;

НУ(ПЦ), F(ПЦ) – для составов без НМВ

По данным, приведенным на рисунке 3.23, следует:

- не установлено точной взаимосвязи между пределом прочности строительного раствора и сцеплением с бетонным основанием;

- выявлено, что по сравнению нормальными условиями твердения после 75 циклов сцепление возрастает. В зависимости от различных параметров (вида цемента и РПП, его дозировки) рост составил: в составах с низко модульным включением ВВ от 7 до 82%, в составах с добавкой МС – 14-62%.

На рисунке 3.24 показана взаимосвязь между сцеплением строительного раствора и дозировкой РПП.

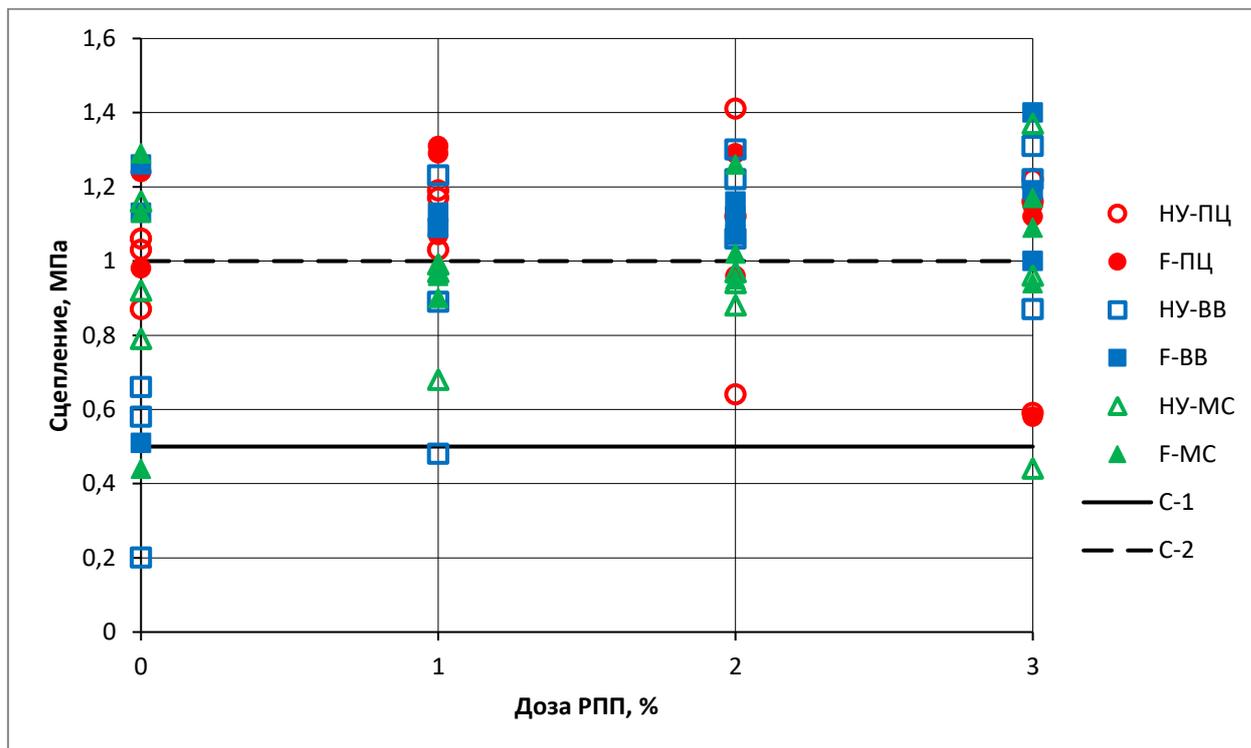


Рисунок 3.24 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора и дозировкой РПП;

C-1; C-2 – сцепление с основанием 0,5 и 1 МПа по ГОСТ Р 56387

Из рисунка видно, что все исследованные составы после 75 циклов замораживания-оттаивания соответствуют классу сцепления C-1, вне зависимости от присутствия НМВ. В некоторых составах с НМВ и дозировкой РПП от 1 до 3% сцепление соответствует классу C-2. В строительных растворах с добавкой ВВ при повышении дозировки РПП от 0 до 3% увеличение сцепления доходит: в ПЦ-1 до 57%, в ПЦ-2 до 22%. В составах с низкомолекулярными включениями в виде МС при росте дозировки РПП отмечено повышение сцепления у ПЦ-1 до 62%.

Анализ данных, полученный в результате исследований, показал:

1. При твердении строительных растворов в НУ тенденция взаимосвязи  $R_f = f(R)$  не изменяется при введении в состав НМВ. Тенденция взаимосвязи  $R_f = f(R)$  в составах после 75 циклов замораживания-оттаивания при введении МС

фактически не изменяется, а при введении ВВ зафиксировано сильное снижение значения  $R^2$ , которое характеризует «величину достоверности аппроксимации». Это подтверждает сильное воздействие различных факторов (вид цемента и РПП, его дозировка) на преобразование прочности при изгибе.

2. При твердении строительных растворов в нормальных условиях НМВ фактически не воздействуют на взаимосвязь между начальным модулем упругости и пределом прочности на сжатие. В растворах с добавкой ВВ после 75 циклов замораживания-оттаивания зафиксировано сильное снижение значения  $R^2$ , что подтверждает сильное влияние вида цемента и РПП, его дозировки на преобразование начального модуля упругости при заданном режиме выдерживания. Добавка МС фактически не оказала влияние на взаимосвязь предела прочности на сжатие и начального модуля упругости строительного раствора.

3. Не обнаружено определенной взаимосвязи предела прочности строительного раствора на растяжение при изгибе и сцепления с бетонным основанием в составах вне зависимости от присутствия НМВ. При сравнении величин сцепления с бетонным основанием 75 циклов замораживания-оттаивания и 28 суток твердения в НУ выявлен рост сцепления после 75 циклов в составах с НМВ в виде ВВ до 82%, а в составах с добавкой МС - 62%.

4. Все испытанные составы вне зависимости от присутствия НМВ после 75 циклов замораживания-оттаивания относятся к классу сцепления С-1. При включении в состав НМВ в виде ВВ отмечается увеличение сцепления до 57% при росте дозировки РПП от 0 до 3% в зависимости от вида цемента, а при включении в состав МС – до 62%.

### **Выводы по главе 3**

1. Установлено влияние РПП при дозировке от 0 до 3% на свойства строительного раствора в нормальных условиях твердения:

- определено снижение показателей: предела прочности строительного раствора на сжатие до 40%, на растяжение при изгибе до 15%, начального модуля

упругости состава до 26%, увеличение сцепления строительного раствора с бетонным основанием до 37%;

- ввод в состав наряду с РПП низко модульных включений приводит к дополнительному снижению прочности: до 25% на изгиб, до 50% на сжатие, к наибольшему росту сцепления до 49%.

2. Установлено влияние 75 циклов замораживания-оттаивания на свойства строительного раствора:

- ввод в состав РПП до 3% от массы сухой смеси приводит к уменьшению: предела прочности на сжатие до 46%, предела прочности на растяжение при изгибе до 23%, начального модуля упругости строительного раствора до 32%;

- циклы замораживания-оттаивания не оказывают отрицательного воздействия на величину сцепления строительного раствора с бетонным основанием;

- неоднозначно влияние НМВ: добавка МС практически не влияет на основные зависимости, в то же время ВВ оказывает значительное влияние на характер зависимостей свойств строительного раствора, в зависимости от вида цемента и РПП, его дозировки;

- низко модульные включения МС имеют преимущество по сравнению с ВВ, в качестве добавки, повышающей морозостойкость;

- в составах с НМВ установлено увеличение сцепления в сравнении с нормальными условиями твердения при введении добавки ВВ до 82%, с добавкой МС – до 62%.

- в составах с НМВ в зависимости от типа цемента при росте дозировки РПП от 0 до 3% происходит увеличение сцепления: с добавкой ВВ до 57%, с МС – до 62%.

- все испытанные составы вне зависимости от присутствия НМВ после 75 циклов замораживания-оттаивания относятся к классу сцепления С-1.

## ГЛАВА 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ МОРОЗОСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ

### 4.1 Влияние показателей пористости на морозостойкость строительного раствора

Согласно ГОСТ 12730.4 для строительных растворов различного назначения устанавливаются следующие показатели пористости: полный объем пор ( $P_n$ ), объем открытых капиллярных и некапиллярных пор ( $P_o$ ), объем условно закрытых пор ( $P_{yz}$ ). На морозостойкость строительных растворов на цементном вяжущем влияет множество факторов, одними из которых являются открытая пористость и соотношение условно-закрытых пор и открытых капиллярных пор [40, 149]. В исследованиях морозостойкости строительных растворов на цементном вяжущем, модифицированных различными полимерными добавками, прослеживается та же зависимость [10, 67]. Для строительных растворов, полученных из ССС, зависимость морозостойкости от показателей пористости также сохраняется, что соответствует требованиям по критерию прочности на сжатие по ГОСТ 10060 [96, 114].

Целью настоящего исследования является выявление закономерностей преобразования пределов прочности на сжатие и изгиб, а также изменения сцепления с основанием строительных растворов на цементном вяжущем, модифицированных полимерами от характера пористости. Произведены исследования растворов, на основе сухих строительных смесей, содержащих РПП в дозировке от 0 до 3% и НМВ в виде МС и ВВ. Основные образцы испытаны после 75 циклов замораживания-оттаивания по ГОСТ 31357.

В роли критерия, устанавливающего морозостойкость бетона, по данным [83, 135, 150], может быть применено соотношение открытой и условно-закрытой пористости, т.е. принимается:

$$F = f(P_o, P_{yz}). \quad (4.1)$$

В данном исследовании в качестве критерия, предопределяющего морозостойкость строительного раствора, используется соотношение [108, 135, 150]

$$k_F = f\left(\frac{P_{y.z.}}{0,09 \cdot P_0}\right) \quad (4.2)$$

Результаты измерения показателей пористости строительных растворов после 28 суток твердения в НУ показаны в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерения показателей пористости строительного раствора

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Показатели пористости		
			$P_0$ , %	$P_{y.z.}$ , %	$K_f$
ПЦ-1+РП- 3	-	0	20	14,7	8,2
		1	17,5	20,3	12,9
		2	17,4	22,2	14,1
		3	18,3	23,4	14,2
ПЦ-2+РП- 4		0	18,2	11,3	6,9
		1	17	14,7	9,6
		2	14,9	16,9	12,6
		3	19,5	27	15,4
ПЦ-3+РП- 5		0	21,6	18,2	9,38
		1	14,2	30,3	23,7
		2	9,9	35,1	39,5
		3	8,5	35,9	46,2
ПЦ-1+РП- 3	МС	0	20	17,8	9,9
		1	19,2	26,1	15,1
		2	18,9	23,4	13,7
		3	14,3	27,5	21,3

Продолжение таблицы 4.1

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	П <sub>0</sub> , %	П <sub>уз</sub> , %	К <sub>ф</sub>
ПЦ-2+РП- 4		0	18,1	10,4	6,4
		1	15,2	29,1	21,3
		2	16,1	19	13,1
		3	19,7	25,3	14,3
ПЦ-3+РП- 5		0	21,3	11,9	6,22
		1	12,6	33,4	29,3
		2	9,78	38,2	43,4
		3	8,81	39,4	49,7
ПЦ-1+РП- 3		0	22,3	27,9	13,9
		1	18	27,1	16,7
		2	19,4	27,5	15,8
		3	15,4	26,3	19
ПЦ-2+РП- 4	0	16,3	31,1	21,1	
	1	19,3	30,5	17,5	
	2	15	23,1	17,1	
	3	16	17,1	11,8	
ПЦ-3+РП- 5	0	21	23,2	12,3	
	1	14	30,6	24,3	
	2	11	34,6	35,1	
	3	9,5	35	41	

Соотношение относительной прочности строительных растворов на растяжении при изгибе от открытой пористости, полученном путем введения в состав смеси РПП и НМВ, показано на рисунке 4.1. Значение относительной прочности установлено из отношения пределов прочности условий выдерживания: после 75 циклов замораживания-оттаивания, после 28 суток твердения в НУ.

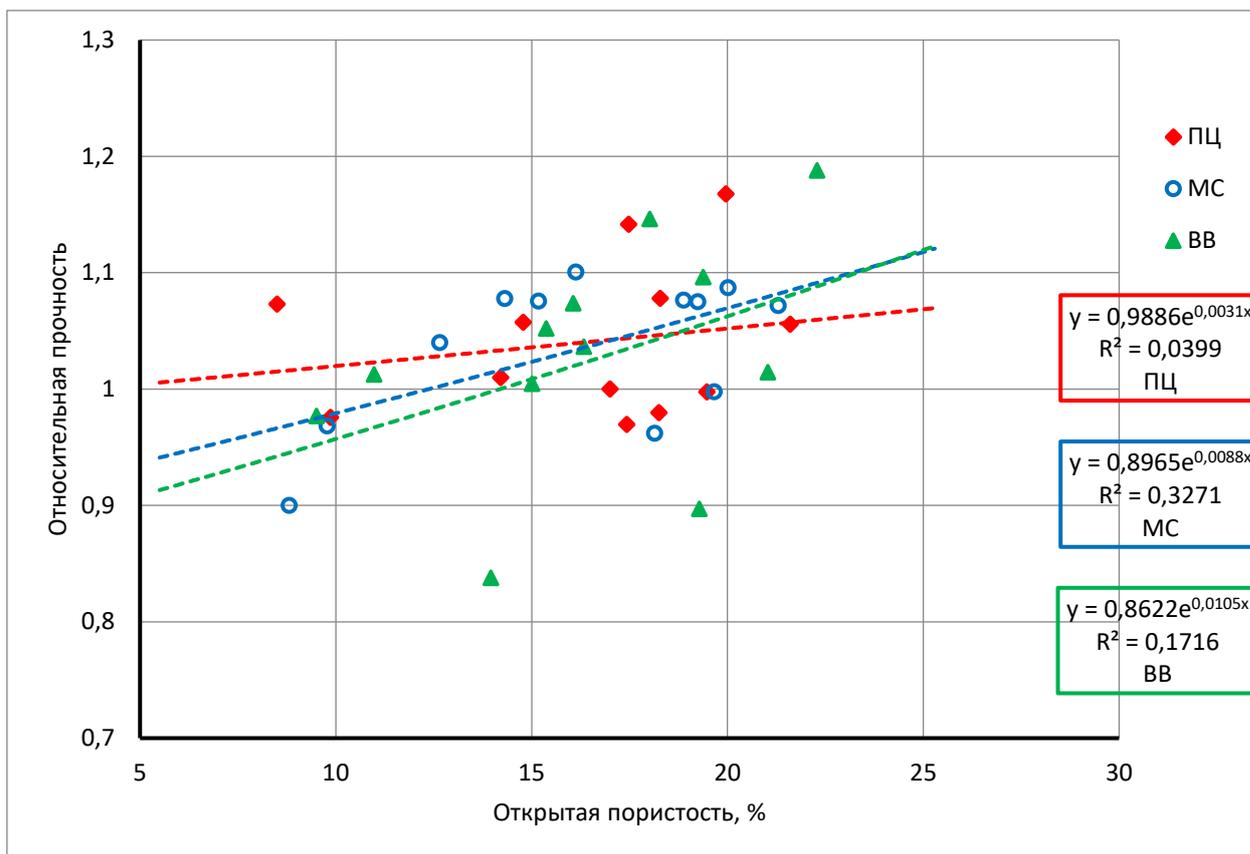


Рисунок 4.1 – Изменение предела прочности раствора на растяжение при изгибе в соотношении с открытой пористостью

По данным, показанным на рисунке 4.1, сделаны следующие выводы:

- отмечается незначительная величина показателя достоверности аппроксимации  $R^2$ , вместе с тем прослеживается общая тенденция – с возрастанием открытой пористости наблюдается незначительное повышение предела прочности на растяжение при изгибе в составах с НМВ;

- в составах без НМВ практически нет взаимосвязи между развитием предела прочности при изгибе после циклического замораживания-оттаивания и открытой пористостью.

На рисунке 4.2 показана взаимосвязь между относительной прочностью на сжатие строительного раствора и открытой пористостью.

В соответствии с ГОСТ 10060 соотношение прочности основных и контрольных образцов, должно составлять не менее 0,95 с учетом коэффициента вариации в серии. По данным, изображенным на рисунке 4.2, видно:

- в составах не включающих и включающих НМВ с добавкой МС с увеличением значения открытой пористости наблюдается незначительный рост предела прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания, показатели которого находятся в допустимых пределах;

- соотношение предела прочности на сжатие и открытой пористости для составов, модифицированных РПП, с НМВ в виде ВВ имеет качественное и количественное отличие от остальных зависимостей, что говорит о влиянии таких факторов, как дозировка РПП и вид НМВ.

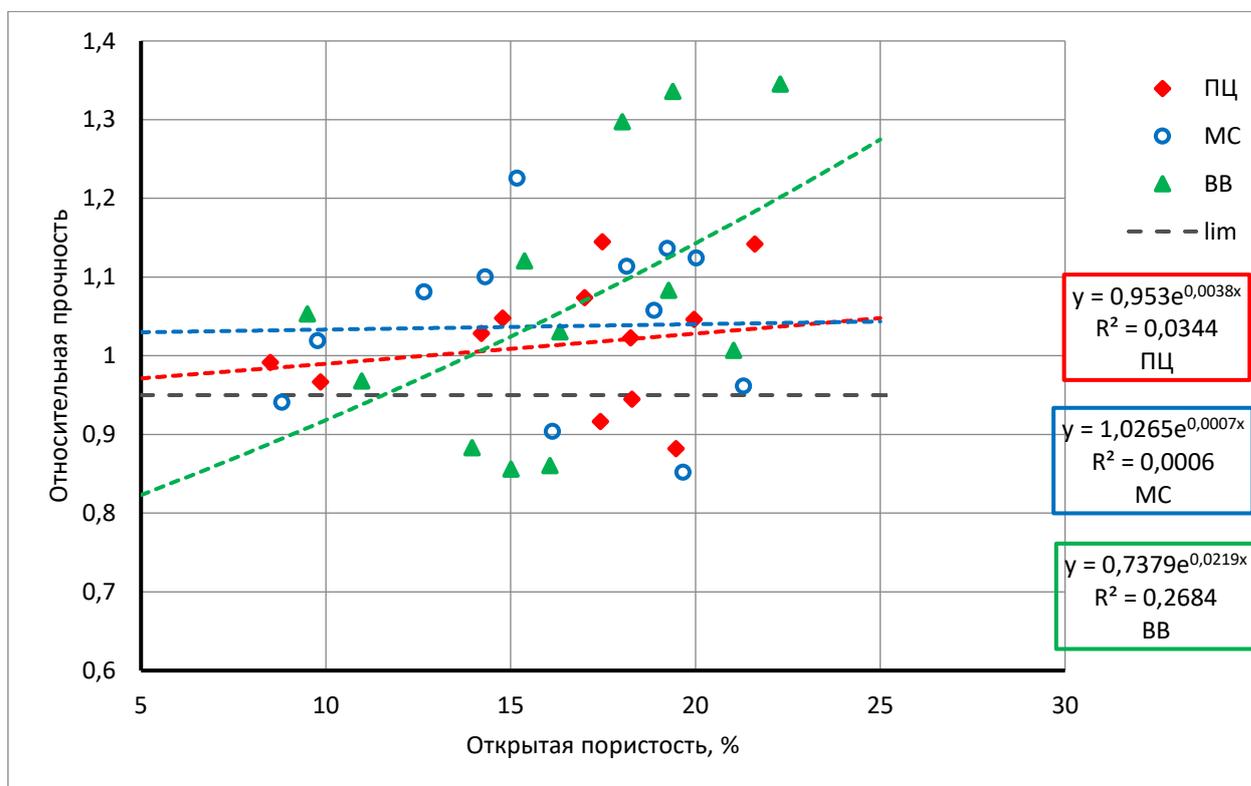


Рисунок 4.2 – Изменение предела прочности строительного раствора на сжатие в зависимости от открытой пористости;

lim – допустимое, согласно ГОСТ 10060, понижение прочности

В данном исследовании рассматривается показатель «морозостойкость контактной зоны», характеризующий способность раствора сохранять прочность сцепления с бетонным основанием. Согласно ГОСТ 31356 снижение прочности сцепления с основанием не должно превышать 20%. На рисунке 4.3 представлена соотношение относительного сцепления строительного раствора с бетонным

основанием и открытой пористости. За относительной сцепление принято отношение сцепления с основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания к сцеплению с основанием после 28 суток твердения в НУ.

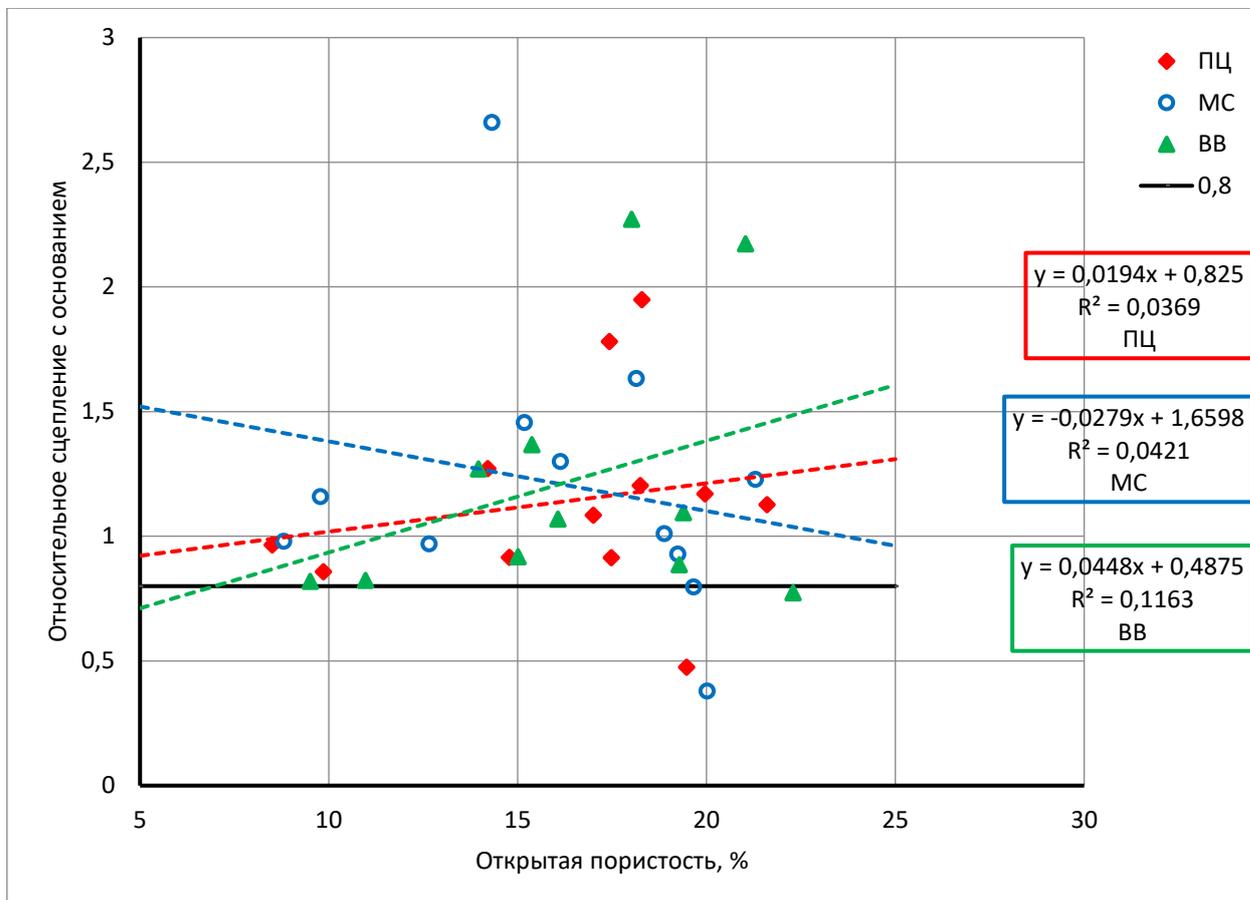


Рисунок 4.3 – Зависимость сцепления строительных растворов с бетонным основанием от открытой пористости;

0,8 – критерий по ГОСТ 31356

По данным, изображенным на рисунке 4.3, видно:

- в составах без НМВ и в составах с НМВ в виде МС почти отсутствует взаимосвязь между открытой пористостью и величиной сцепления с основанием;
- в составах с добавкой ВВ в качестве НМВ наблюдается повышение сцепления с основанием с ростом открытой пористости.

На рисунке 4.4 представлена взаимосвязь между критерием морозостойкости  $K_F$  и относительной прочностью растворов на растяжении при изгибе после 75 циклов замораживания-оттаивания.

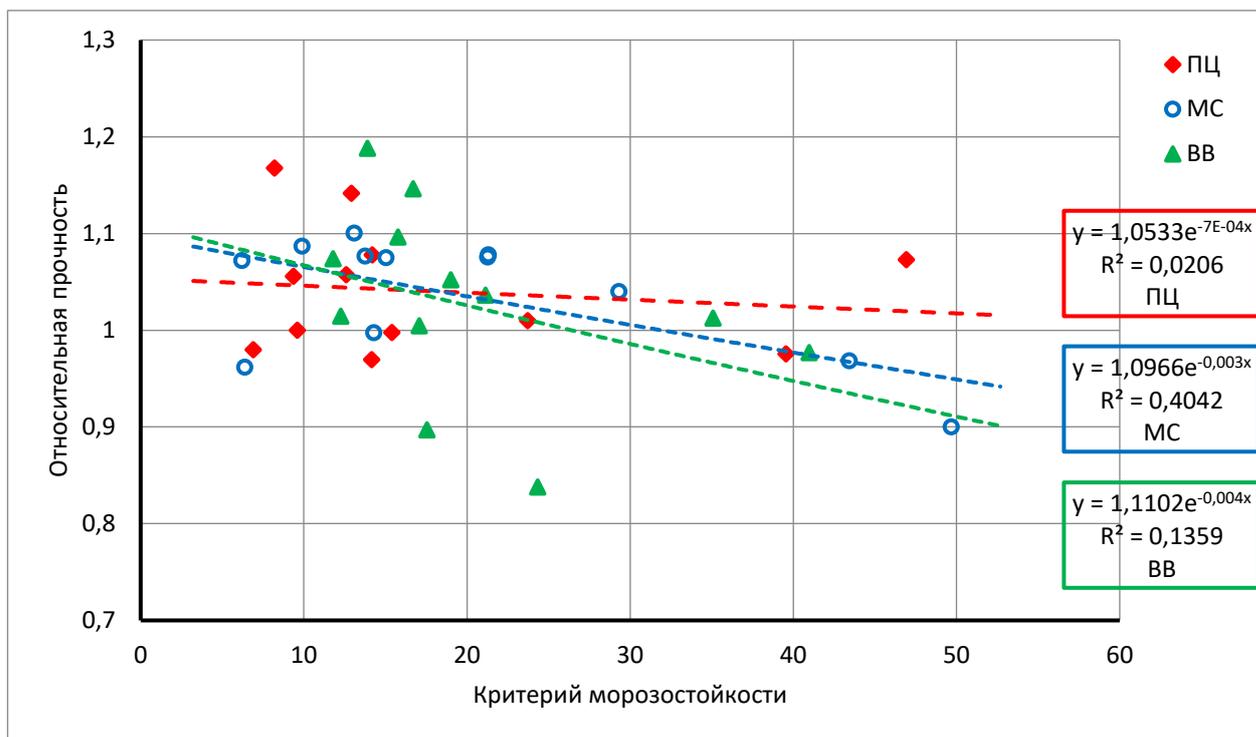


Рисунок 4.4 – Изменение предела прочности строительных растворов на растяжение при изгибе от взаимосвязи с критерием морозостойкости

По данным, показанным на рисунке 4.4, сделаны следующий вывод:

- зафиксирована незначительная величина показателя достоверности аппроксимации  $R^2$ , невзирая на это установлена некоторая последовательность – с возрастанием критерия морозостойкости наблюдается снижение предела прочности, особенно в составах с НМВ. В составах без НМВ практически нет взаимосвязи между критерием морозостойкости и развитием предела прочности при изгибе после циклического замораживания-оттаивания, что закономерно.

На рисунке 4.5 представлена взаимосвязь между относительной прочностью строительного раствора на сжатие и критерием морозостойкости  $K_F$ .

На основании данных, изображенных на рисунке 4.5, сделаны следующие выводы:

- в составах с НМВ в виде МС не отмечено существенного воздействия критерия морозостойкости на изменение значений относительной прочности на сжатие;

- с увеличением критерия морозостойкости в составах не включающих и включающих НМВ в виде ВВ наблюдается понижение прочности в установленных пределах, что закономерно.

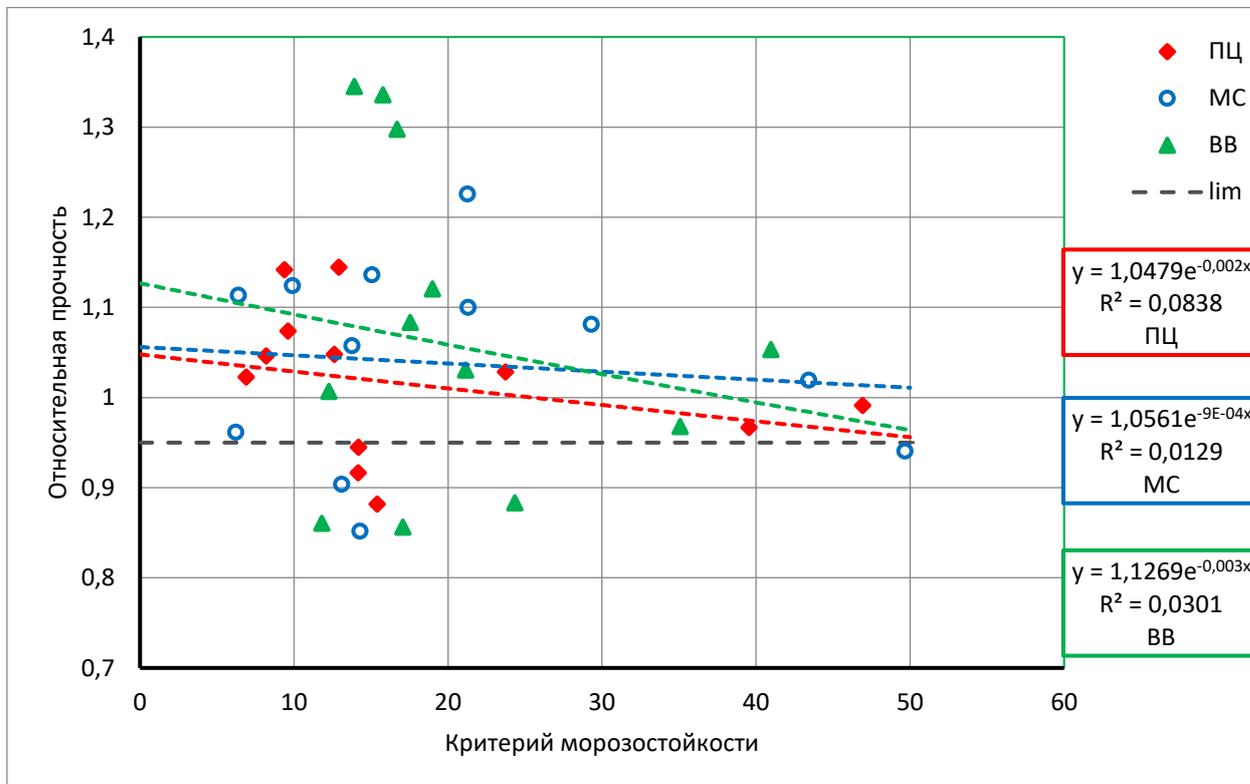


Рисунок 4.5 – Изменение предела прочности строительного раствора на сжатие от взаимосвязи с критерием морозостойкости;

lim – допустимое, согласно ГОСТ 10060, понижение прочности

На рисунке 4.6 представлена взаимосвязь между относительным сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и критерием морозостойкости  $K_F$ .

По данным, показанным на рисунке 4.6, сделаны следующие выводы:

- в составах с добавкой МС фактически отсутствует взаимосвязь между критерием морозостойкости и величиной сцепления с основанием;
- в составах без НМВ и в составах с добавкой ВВ в качестве НМВ при увеличении критерия морозостойкости, прослеживается понижение сцепления с основанием, что закономерно.

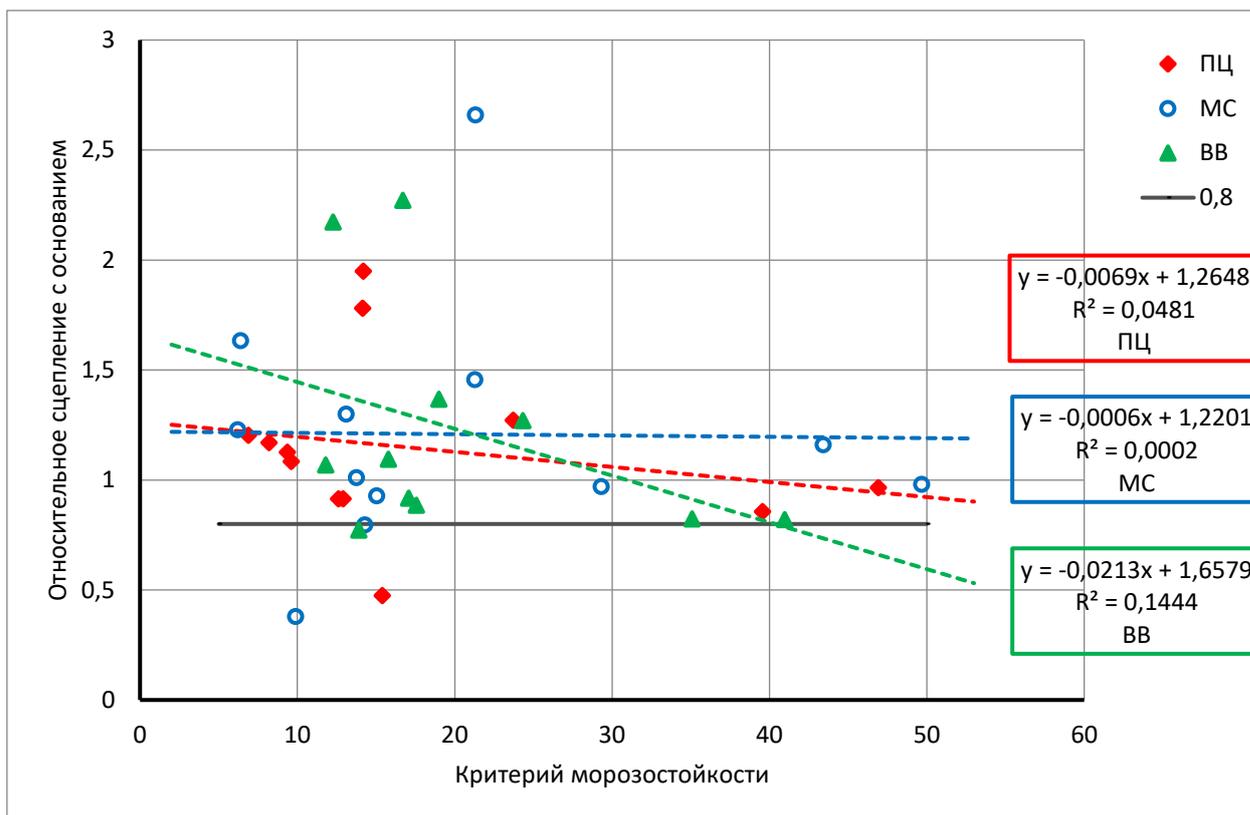


Рисунок 4.6 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием и критерием морозостойкости;  
0,8 – критерий по ГОСТ 31356

В итоге, в полученных результатах строительных растворов на цементном вяжущем не обнаружено очевидной взаимосвязи между морозостойкостью строительного раствора и значением критерия морозостойкости. Вероятнее всего причиной является то, что во время циклического замораживания-оттаивания строительных растворов происходит значительное изменение в пропорции между двумя видами капиллярной пористости.

Анализ данных, полученных в результате исследований, показал:

1. Установлено, понижение предела прочности при изгибе после циклического замораживания-оттаивания, с увеличением критерия морозостойкости строительных растворов на цементном вяжущем, наиболее явно это выражено в составах с НМВ. Критерий морозостойкости в составах без низкомолекулярных включений фактически не влияет на преобразование предела прочности при изгибе после циклического замораживания-оттаивания;

2. Не отмечено существенного воздействия критерия морозостойкости на изменение значений относительной прочности на сжатие после циклического замораживания-оттаивания строительных растворов различного назначения, содержащих МС в качестве НМВ. Растворы без низко модульных включений и с НМВ с добавкой ВВ с повышением критерия морозостойкости показывают некоторое понижение прочности;

3. Не отмечено существенного воздействия критерия морозостойкости на изменение значений сцепления с основанием после циклического замораживания-оттаивания строительных растворов на цементном вяжущем, содержащих НМВ в виде МС. Строительные растворы без низко модульных включений и с НМВ с добавкой ВВ с повышением критерия морозостойкости отображают понижение сцепления с основанием.

#### **4.2 Взаимосвязь между критериями прочности и морозостойкостью строительных растворов**

В соответствии с ГОСТ 26633 прочность строительного раствора различного назначения при циклическом знакопеременном температурном действии нормируется маркой по морозостойкости. В роли критерия морозостойкости применяется преобразование: предела прочности на сжатие, скорости ультразвука, размеров образцов и уменьшение массы [3,105,118]. Согласно ГОСТ 100060-2012 за критерий морозостойкости для строительных растворов принято отношение предела прочности на сжатие контрольных и основных образцов, которое должно быть не менее 0,9 с применением внутрисерийного коэффициента вариации. В предшествующей редакции ГОСТ 10060 за критерий морозостойкости было принято соотношение пределов прочности не менее 0,95. Направление исследований в области изменения коэффициента вариации прочности внутри серии после циклического замораживания-оттаивания недостаточно изучено.

Целью исследования является выявление обоснованности преобразования внутрисерийного коэффициента вариации прочности строительных растворов,

на цементном вяжущем на базе 3 видов портландцементов с содержанием редиспергируемых полимерных порошков в дозировке от 0 до 3% и низкомодульных включений. Также поставлена задача о проверке применимости известных условий обеспечения морозостойкости к исследуемым составам. Количество образцов в каждой серии для определения критерия прочности – 6. Исследования проведены на основе 75 циклов замораживания-оттаивания.

В соответствии с ГОСТ 10060 коэффициент вариации предела прочности определяется по формуле:

$$Vm = \frac{\sigma_n}{R_{cp}}, \quad (4.3)$$

где  $\sigma_n$  – среднеквадратическое отклонение,

$R_{cp}$  – среднее значение прочности, МПа.

В таблице 4.2 представлены величины внутрисерийных коэффициентов вариации прочности исследуемых составов.

Таблица 4.2 – Значения коэффициентов вариации прочности

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Коэффициенты вариации прочности		$VF / V28^3$
			$V28^1$	$VF^2$	
ПЦ-1	-	0	0,06	0,036	0,6
		1	0,123	0,038	0,309
		2	0,031	0,026	0,839
		3	0,055	0,031	0,564
ПЦ-2		0	0,16	0,096	0,6
		1	0,2	0,05	0,25
		2	0,087	0,02	0,23
		3	0,078	0,102	1,308
ПЦ-3		0	0,071	0,055	0,774
		1	0,048	0,082	1,708
		2	0,08	0,018	0,225
		3	0,08	0,05	0,625

Продолжение таблицы 4.2

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	$V28^1$	$VF^2$	$VF / V28^3$
ПЦ-1	МС	0	0,072	0,052	0,72
		1	0,089	0,016	0,18
		2	0,036	0,029	0,805
		3	0,065	0,023	0,354
ПЦ-2		0	0,051	0,043	0,843
		1	0,036	0,063	1,75
		2	0,085	0,127	1,494
		3	0,136	0,13	0,956
ПЦ-3		0	0,037	0,039	1,054
		1	0,029	0,048	1,655
		2	0,053	0,06	1,132
		3	0,051	0,69	1,353
ПЦ-1	ВВ	0	0,054	0,038	0,704
		1	0,122	0,076	0,622
		2	0,048	0,058	1,208
		3	0,085	0,063	0,74
ПЦ-2		0	0,093	0,053	0,57
		1	0,08	0,062	0,775
		2	0,06	0,086	1,43
		3	0,115	0,1	0,87
ПЦ-3		0	0,031	0,069	2,226
		1	0,05	0,085	1,7
		2	0,092	0,053	0,576
		3	0,057	0,068	1,193

Примечание: 1 – внутрисерийный коэффициент вариации после 28 суток твердения в НУ; 2 – внутрисерийный коэффициент вариации после 75 циклов

замораживания-оттаивания; 3 – преобразование внутрисерийного коэффициента вариации прочности после циклического замораживания-оттаивания

В таблице 4.3 показана усредненная величина внутрисерийного коэффициента вариации предела прочности на сжатие.

Таблица 4.3 – Усредненная величина внутрисерийного коэффициента вариации

Коэффициент вариации прочности	Составы		
	ПЦ	ПЦ+МС	ПЦ+ВВ
<i>V28</i>	0,095	0,062	0,074
<i>VF</i>	0,055	0,058	0,068

По показанным в таблице 4.3 данным, можно отметить уменьшение средней величины внутрисерийного коэффициента вариации прочности у всех составов после 75 циклов замораживания-оттаивания, в наибольшей степени отражается в составах без НМВ.

В работе [153] представлены значения коэффициентов вариации прочности бетона, определенные по 3 методу ГОСТ 10060. Для контрольных образцов коэффициент вариации составил 0,023, после 10 циклов 0,031, после 20 циклов 0,017. В работе [156] значения коэффициента вариации прочности бетона по данному методу составили: у контрольных образцов 0,0705, после 37 циклов 0,0719. Данные показатели согласуются с возможностью понижения коэффициента вариации прочности строительных растворов и бетонов после циклического замораживания-оттаивания.

На рисунке 4.7 изображены данные о воздействии типов цементов, РПП и его дозировки, НМВ на внутрисерийный коэффициент вариации предела прочности на сжатие рассматриваемых строительных растворов при условии выдерживания: после 28 суток твердения в НУ, после 75 циклов замораживания-оттаивания.

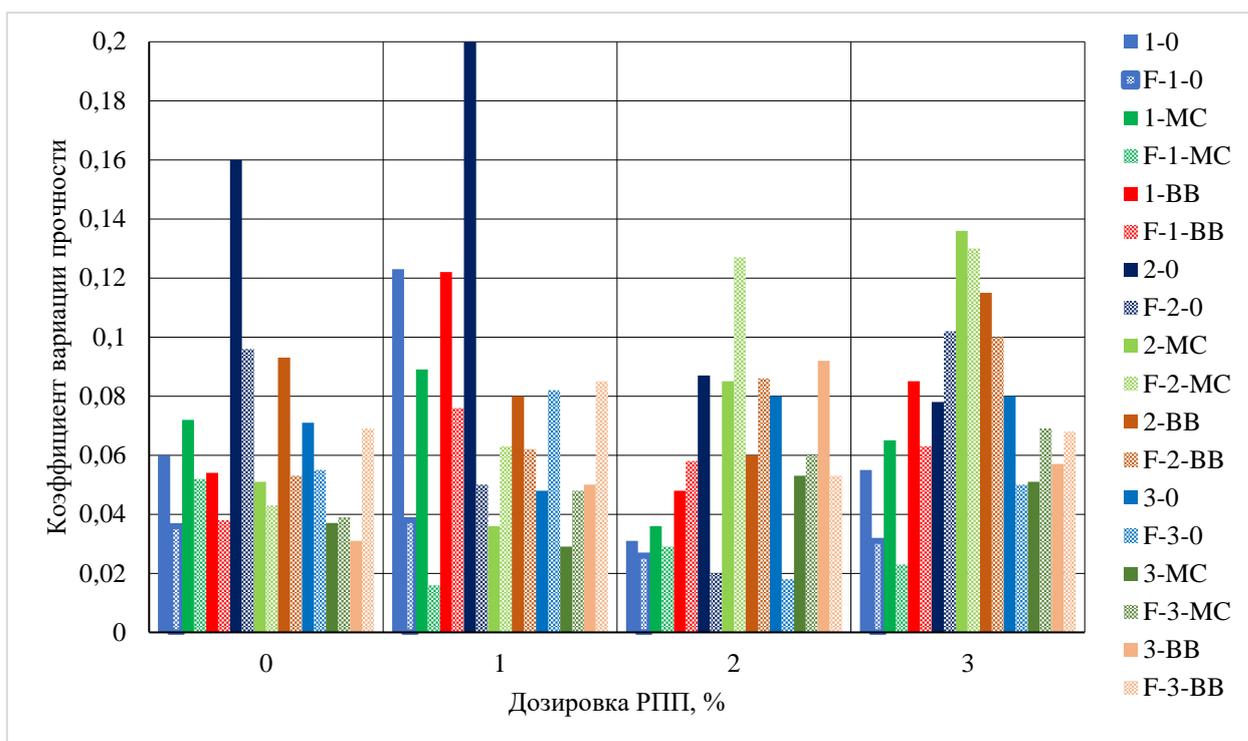


Рисунок 4.7 – Воздействие типов цементов, РПП и его дозировки, НМВ на внутрисерийный коэффициент вариации предела прочности на сжатие строительных растворов после 28 суток твердения в НУ и (F) после 75 циклов замораживания-оттаивания; 1,2,3 – цементы; MC, BB – вводимые НМВ, 0 – отсутствие НМВ

Из изображенных на рис. 4.7 данных, можно заключить:

- коэффициент вариации предела прочности на сжатие составов не содержащих РПП, зависит от вида цемента, присутствия НМВ и его вида;
- при включении в состав строительного раствора РПП не прослеживается определенной закономерности, величина коэффициента вариации прочности как снижается, так и увеличивается;
- зафиксировано снижение коэффициента вариации предела прочности строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания по аналогии со значениями после 28 суток твердения в НУ, только в составах ПЦ-3 (сульфатостойкий цемент) с добавками ВВ и МС отмечено обратное действие.

Коэффициент морозостойкости строительного раствора без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности определяется по формуле:

$$k_{F,R} = \frac{R_F}{R_0}, \quad (4.4)$$

где  $R_F, R_0$  – соответственно предел прочности на сжатие основных образцов после  $N$  циклов замораживания-оттаивания и контрольных образцов.

В соответствии с ГОСТ 10060, п. 5.2.4, нижний порог доверительного интервала предела прочности на сжатие для контрольных и основных образцов выражается формулами:

$$R_{F,lim} = R_F \cdot (1 - \beta \cdot v_F), \quad (4.5)$$

$$R_{0,lim} = R_0 \cdot (1 - \beta \cdot v_0), \quad (4.6)$$

где  $R_{F,lim}, R_{0,lim}$  – нижний доверительный интервал предела прочности на сжатие основных образцов после  $N$  циклов замораживания-оттаивания и контрольных образцов с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности,

$\beta$  – t-критерий Стьюдента (для 6 образцов принимается равным 2,57),

$v_F, v_0$  – внутрисерийный коэффициент вариации прочности основных и контрольных образцов.

В работе принимаем:

$$v_F = d \cdot v_0 \quad (4.7)$$

Тогда, в соответствии с ГОСТ 10060-2012, значение коэффициента морозостойкости с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности после  $N$  циклов замораживания-оттаивания можно сформулировать так:

$$k_{F,ГОСТ} = \frac{R_{F,lim}}{R_{0,lim}} = \frac{R_F}{R_0} \cdot \frac{1 - \beta \cdot d \cdot v_0}{1 - \beta \cdot v_0} = k_{F,R} \cdot k_v > 0,9. \quad (4.8)$$

В таблице 4.4 представлены значения коэффициентов морозостойкости исследуемых строительных растворов без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности  $k_{F,R}$  и с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности (по ГОСТ 10060-2012)  $k_{F,ГОСТ}$ .

Таблица 4.4 – Значения коэффициентов морозостойкости

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Коэффициенты морозостойкости	
			$K_{F,R}$	$K_{F,ГОСТ}$
ПЦ-1	-	0	1,04	1,123
		1	1,143	1,505
		2	0,917	0,931
		3	0,946	1,012
ПЦ-2		0	1,02	1,309
		1	1,07	1,926
		2	1,05	1,28
		3	0,884	0,817
ПЦ-3		0	1,14	1,197
		1	1,03	0,929
		2	0,916	1,098
		3	0,99	1,088
ПЦ-1	МС	0	1,126	1,199
		1	1,135	1,412
		2	1,056	1,077
		3	1,111	1,256
ПЦ-2		0	1,112	1,139
		1	1,233	1,131
		2	0,9	0,78
		3	0,856	0,875
ПЦ-3		0	0,962	0,954
		1	1,072	1,018
		2	1,025	1,02
		3	0,935	0,886

Продолжение таблицы 4.4

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	$K_{F,R}$	$K_{F,ГОСТ}$
ПЦ-1	ВВ	0	1,329	1,391
		1	1,297	1,52
		2	1,335	1,302
		3	1,117	1,199
ПЦ-2		0	1,03	1,17
		1	1,084	1,146
		2	0,854	0,788
		3	0,864	0,912
ПЦ-3		0	1	0,9
		1	0,879	0,789
		2	0,967	1,095
		3	1,054	1,018

В таблице 4.5 представлены средние значения коэффициента морозостойкости.

Таблица 4.5 – 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

По показанным в таблице 4.5 данным видно:

- среднеарифметические величины коэффициента морозостойкости без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности выше максимально допустимого порога критерия прочности по ГОСТ 10060 равного 0,95;

- среднеарифметические величины коэффициента морозостойкости с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности выше максимально допустимого порога критерия прочности по ГОСТ 10060-2012 равного 0,9.

На рисунке 4.8 представлена взаимосвязь между функцией  $k_v$ , внутрисерийным коэффициентом вариации прочности контрольных образцов и величиной  $d$ . Величина  $d$  характеризуют изменение внутрисерийного коэффициента вариации прочности, вследствие замораживания-оттаивания.

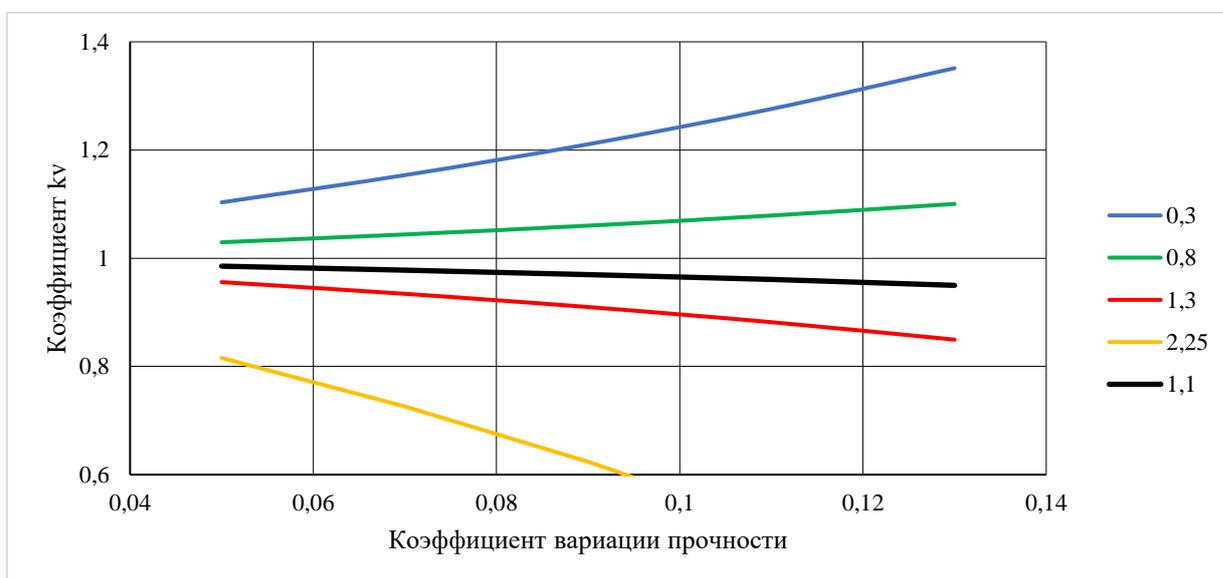


Рисунок 4.8 – Взаимосвязь коэффициента  $k_v$ , величины  $d$  и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности контрольных образцов  
0,3; 0,8; 1,1; 1,3; 2,25 – установленные величины  $d$

По данным, показанным на рисунке 4.8, можно заключить:

- на функцию  $k_v$ , которая характеризует зависимость величин коэффициента морозостойкости по редакциям ГОСТ 10060 – действующей и предыдущей, значительно влияет направление преобразования внутрисерийного коэффициента вариации прочности после циклического замораживания-оттаивания;

- при росте внутрисерийного коэффициента вариации прочности контрольных образцов, на функцию  $k_v$ , усиливается влияние направление изменения коэффициента вариации вследствие циклического замораживания-оттаивания;

- так как допустимая величина критерия морозостойкости по ГОСТ 10060-2012 равная 0,9 различается с величиной, принятой в предыдущей редакции стандарта 0,95, можно сделать предположение, что с повышением внутрисерийного коэффициента вариации прочности вследствие циклического замораживания-оттаивания может выполняться условие формулы (4.8). Это условие соответствует требованиям, предъявляемым к морозостойкому строительному раствору.

По данным рисунка 4.8, рост внутрисерийного коэффициента вариации прочности контрольных образцов составляет от 10 до 50%, причем значение повышения зависит от величины коэффициента вариации прочности. Данные, изображенные на рисунке 4.9 доказывают это понятие. На рисунке 4.9 и далее на последующих рисунках используются результаты исследований морозостойкости бетонов условно обозначенные: Я8 – [156], Я37 – [157], Э10, Э20 – [153], М – [105], Я – [158].

Значения коэффициента вариации прочности составов могут быть вызваны различными факторами: порядком проведения испытаний (центрированием образцов и их линейными размерами), а также, вероятно воздействием циклического замораживания-оттаивания на изменение строения образцов. Влияние циклического замораживания-оттаивания на структуру материала наиболее выражено в случаях, когда первоначальная структура образца менее однородна. Для морозостойких структур характерно снижение коэффициента вариации прочности после  $N$  циклов замораживания-оттаивания, и наоборот, увеличение коэффициента вариации указывает на доминирование деструктивных процессов. Вот только определить, что точно влияет на коэффициент вариации прочности – процедура испытаний или результат неоднородности структуры состава, не представляется возможным.

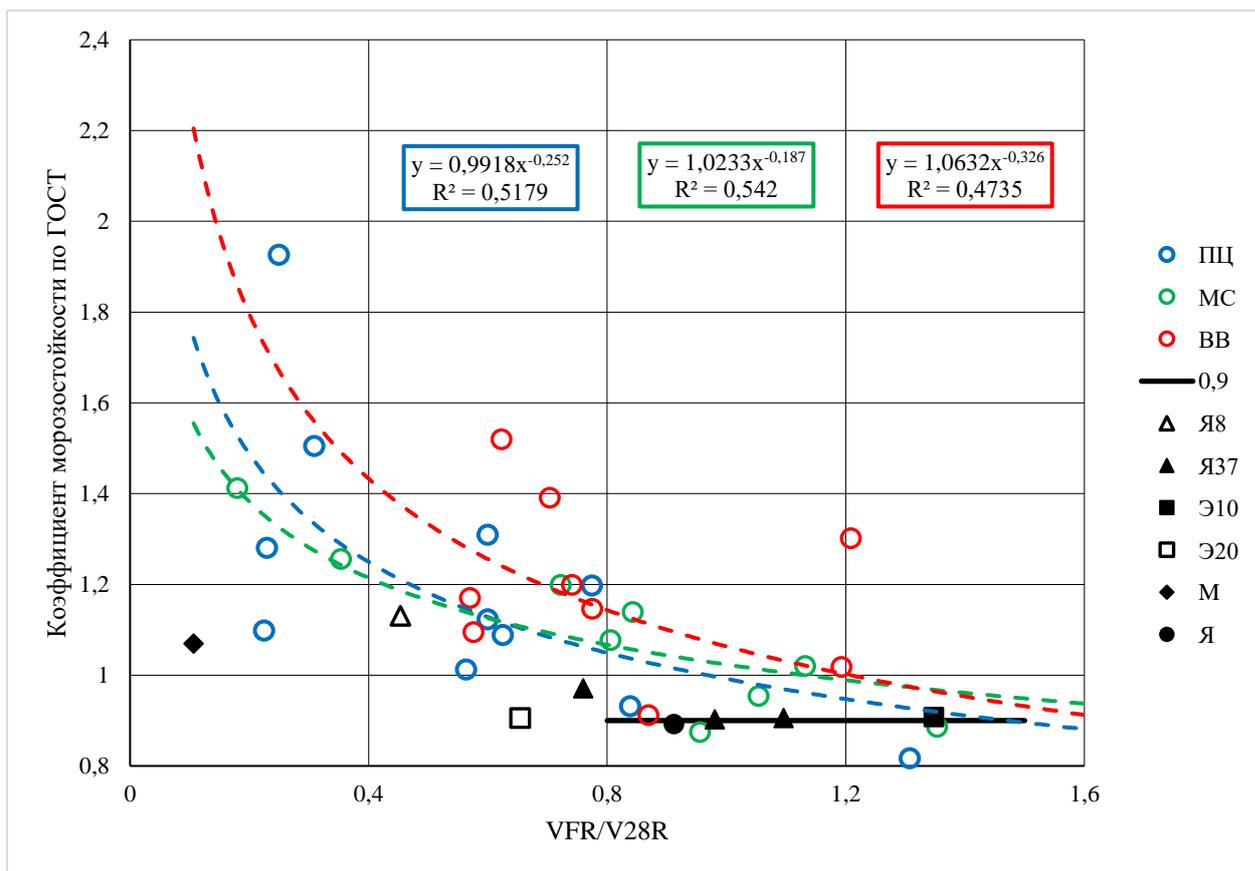


Рисунок 4.9 – Взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости по ГОСТ 10060-2012 строительных растворов и преобразованием внутрисерийного коэффициента вариации прочности после циклического замораживания-оттаивания; ПЦ – состав без НМВ, ВВ, МС – вводимые НМВ; 0,9 – принятый по ГОСТ 10060-2012, критерий морозостойкости

На рисунке 4.10 показана корреляция коэффициентов морозостойкости строительных растворов по критерию предела прочности на сжатие в соответствии с ГОСТ 10060-2012 (формула 4.8) и по формуле 4.4.

По данным, показанным на рисунке 4.10, видно, что корреляция между коэффициентами морозостойкости, определенными по двум формулам, линейная. Значения коэффициентов уравнения (формула 4.9) представлены в таблице 4.6.

$$k_{F,ГОСТ} = k_{F,R} \cdot k_v = a \cdot k_{F,R} + b. \quad (4.9)$$

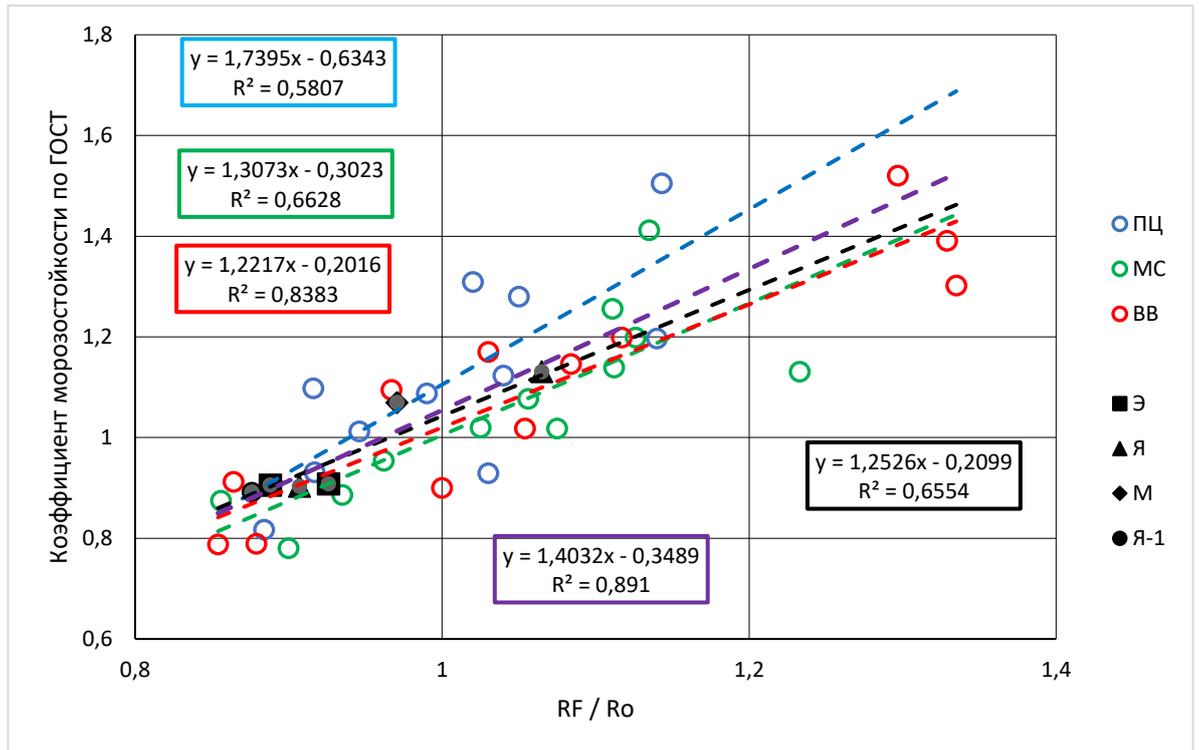


Рисунок 4.10 – Корреляция коэффициентов морозостойкости строительного раствора по формулам 4.8 и 4.4;

ПЦ – состав без НМВ, МС – состав с добавкой зольной микросферы,

ВВ – с добавкой вовлеченного воздуха;

Я – Ярмолинская Н.И., Э – Эккель С.В., М – Мирский К.В.,

Я-1 – Ярмолинский В.А.

Таблица 4.6 – Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и характеристики  $R^2$

Коэффициенты	Составы				
	ПЦ	ПЦ+МС	ПЦ+ВВ	Все составы	Бетоны по [105,153,156-158]
$a$	1,74	1,31	1,22	1,25	1,396
$b$	- 0,634	- 0,3	- 0,2	- 0,21	- 0,34
$R^2$	0,58	0,66	0,84	0,66	0,88

По данным, показанным в таблице 4.6, следует, что из исследуемых составов наибольшее значение коэффициента аппроксимации в составе ПЦ+ВВ ( $R^2 > 0,8$ ), что указывает на довольно близкую взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости, определенным по формуле 4.4 и коэффициентом морозостойкости по ГОСТ 10060-2012 (формула 4.8). В результате чего зависимость (формула 4.9) для состава ПЦ+ВВ рекомендуется для применения в практических целях. По данным [105,153,156-158] в бетонах также прослеживается близкая взаимосвязь этих показателей. В других составах нерационально применять зависимость (формула 4.9) для практических целей.

Основываясь на полученных данных, нельзя вывести общей зависимости между коэффициентами морозостойкости двух редакций ГОСТ 10060 – предыдущей и действующей, так как в соответствии с формулой 4.8 корреляция коэффициентов морозостойкости обусловлена направлением преобразования коэффициента вариации прочности после циклического замораживания-оттаивания. Если величина  $d$  (в формулах 4.7,4.8) будет изменяться в небольшом интервале, в этом случае возможна корреляция для различных составов.

На рисунке 4.11 изображена взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по формуле 4.4 и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности основных образцов, при различных комбинациях цемента, дозировки РПП и типа НМВ.

По данным, изображенным на рисунке 4.11, не наблюдается определенной линейной зависимости коэффициента морозостойкости строительного раствора по формуле 4.4 от внутрисерийного коэффициента вариации прочности основных образцов. Эти данные соответствуют работам [105,153,156-158]. Закономерно предположить, что при снижении коэффициента вариации прочности основных образцов, наблюдается некоторое направление к росту коэффициента морозостойкости, что говорит об увеличении однородности структуры состава. При обработке результатов исследований из 36 модифицированных составов 9 из них (25%) не соответствуют требованиям

ГОСТ 10060 предыдущей редакции марке по морозостойкости F75, по данным [153,156-158] некоторые бетоны также не отвечают критерию морозостойкости.

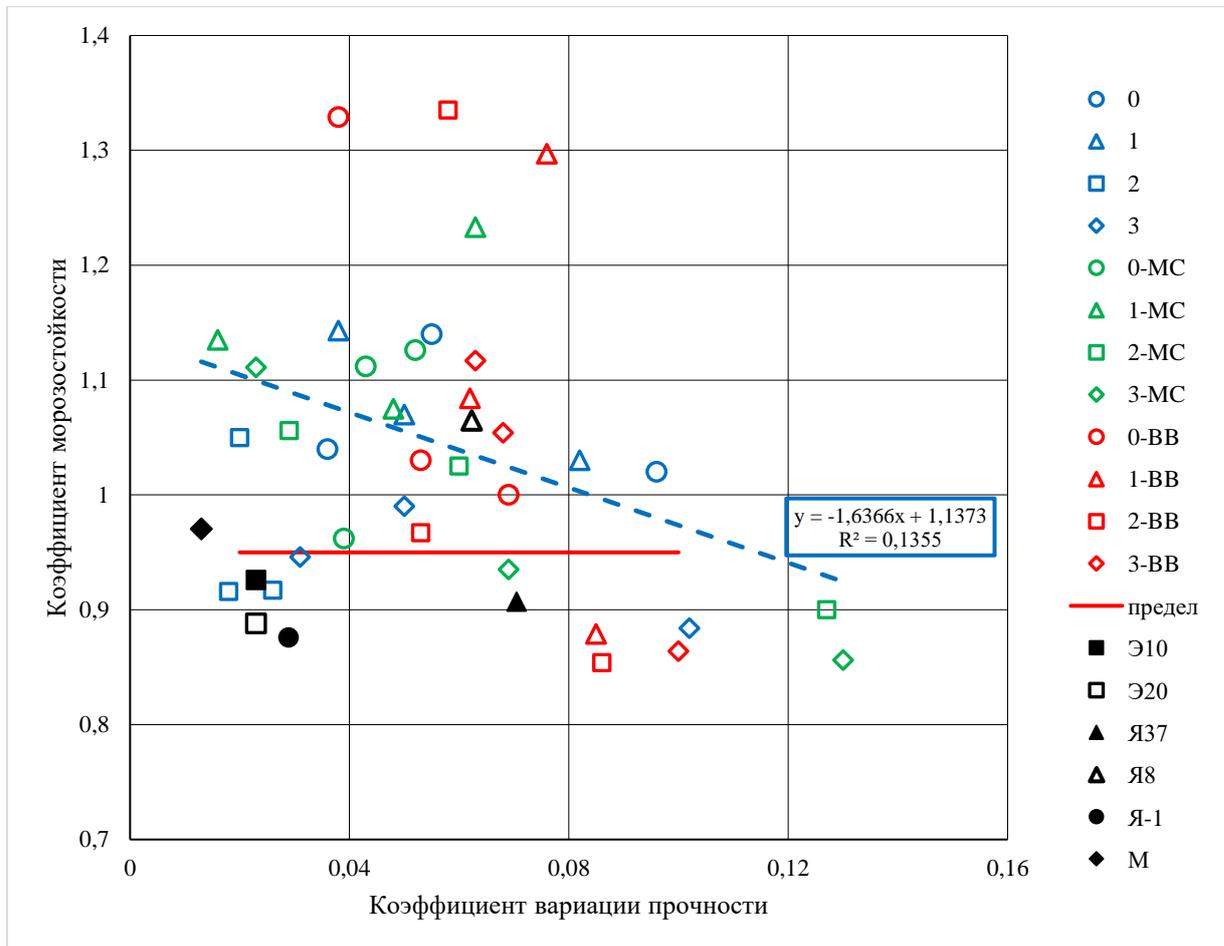


Рисунок 4.11 – Взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по ф. (4.4) и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности основных образцов, при различных комбинациях цемента, дозировки РПП и типа НМВ; 0,1,2,3 – дозировка РПП, %; МС, ВВ – тип НМВ; маркеры: синий – ПЦ-1, зеленый – ПЦ-2, красный – ПЦ-3

Взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по формуле 4.8 и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности основных образцов, при различных комбинациях цемента, дозировки РПП и типа НМВ изображена на рисунке 4.12.

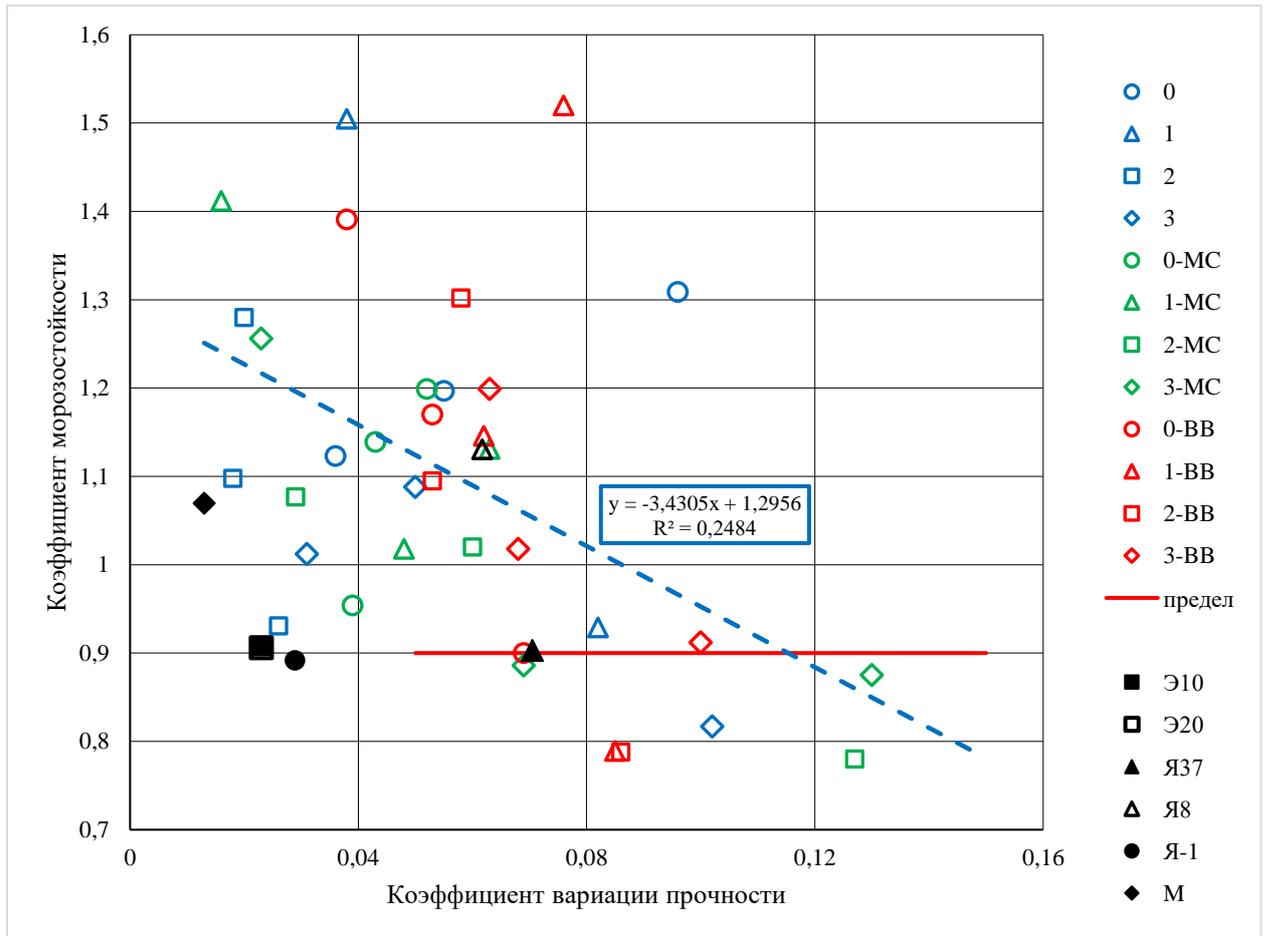


Рисунок 4.12 – Взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по ф.(4.8) и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности основных образцов, при различных комбинациях цемента, дозировки РПП и типа НМВ; 0,1,2,3 – дозировка РПП, %; МС, ВВ – тип НМВ, маркеры: синий – ПЦ-1, зеленый – ПЦ-2, красный – ПЦ-3

По данным, изображенным на рисунке 4.12, не наблюдается определенной линейной зависимости коэффициента морозостойкости строительного раствора по формуле 4.8 от внутрисерийного коэффициента вариации прочности основных образцов, что соответствует данным, полученным в работах [105,153,156-158]. По полученным результатам можно сделать предположение лишь о некотором характере повышения коэффициента морозостойкости (более точном, чем в предшествующем случае  $R^2 = 0,248 > R^2 = 0,136$ ) при снижении коэффициента вариации прочности основных образцов, что говорит об увеличении однородности структуры состава, что является вполне

закономерным. При обработке результатов исследований из 36 составов 6 из них (17%) не соответствуют требованиям ГОСТ 10060-2012 марке по морозостойкости F<sub>175</sub>. По данным [153,156-158] бетоны отвечают критерию морозостойкости по действующей редакции ГОСТ, по сравнению с результатом исследований по предыдущей редакции ГОСТ.

Проанализировав данные, полученные в результате исследований, пришли к следующим выводам:

1. Представлена взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по критерию предела прочности на сжатие по двум редакциям ГОСТ 10060 – предыдущей и действующей и преобразование внутрисерийного коэффициента вариации прочности основных образцов в отношении к контрольным;

2. Описано воздействие редиспергируемых полимерных порошков, вида цемента и присутствия низкомодульных включений в строительных растворах на преобразование внутрисерийного коэффициента вариации прочности основных образцов по отношению к контрольным.

#### **Выводы по главе 4**

1. Установлено влияние критерия морозостойкости строительных растворов на цементном вяжущем на предел прочности после циклического замораживания-оттаивания:

- в составах с НМВ с увеличением критерия морозостойкости происходит понижение предела прочности при изгибе;

- в составах без НМВ критерий морозостойкости фактически не оказывает воздействие на преобразование предела прочности при изгибе;

- в строительных растворах без низкомодульных включений и с НМВ с добавкой ВВ с повышением критерия морозостойкости происходит некоторое понижение прочности на сжатие, понижение сцепления с основанием;

- в составах, содержащих НМВ в виде МС не отмечено существенного воздействия критерия морозостойкости на изменение значений: относительной прочности на сжатие, сцепления с основанием.

2. Выявлены обоснованности преобразования внутрисерийного коэффициента вариации прочности основных образцов по отношению к контрольным по критериям морозостойкости:

- взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по критерию предела прочности на сжатие по двум редакциям ГОСТ 10060 – предыдущей и действующей;

- воздействие ретиспергируемых полимерных порошков, вида цемента и присутствие низкомодульных включений в строительных растворах.

## ГЛАВА 5. ВОЗДЕЙСТВИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА МОРОЗОСТОЙКОСТЬ КОНТАКТНОЙ ЗОНЫ ЗАТВЕРДЕВШЕГО СТРОИТЕЛЬНОГО РАСТВОРА

### 5.1 Воздействие пористости затвердевшего строительного раствора на морозостойкость контактной зоны

В соответствии ГОСТ 31357 для строительных растворов различного назначения на цементном вяжущем, одним из нормируемых критериев является показатель «морозостойкости контактной зоны». Этот показатель характеризует способность строительного раствора выдерживать прочность сцепления с бетонным основанием. Морозостойкость контактной зоны характеризуется маркой по морозостойкости от  $F_{кз}25$  до  $F_{кз}100$ . В ГОСТ 31356 приведено понятие марки, как величины, характеризующей количество циклов, при которых уменьшение прочности сцепления с основанием не достигает 20%.

Исследование морозостойкости контактной зоны строительных растворов, количественное воздействие на нее различных рецептурных факторов недостаточно изучено. В связи с этим, ставится задача выявления взаимосвязи морозостойкости контактной зоны строительных растворов, полученных из ССС на цементном вяжущем, и содержащих их различных РПП в дозировке от 0 до 3%. Исследования проведены на основе 75 циклов замораживания-оттаивания.

В данном исследовании рассматриваются зависимости морозостойкости строительных растворов, на основе ССС, с применением критериев пористости. А именно, соответствие условно-закрытых пор и открытых капиллярных пор. С целью создания в структуре состава условно-закрытых пор применены низко модульные включения МС и ВВ [117]. Также определенное воздухововлечение в строительном растворе создается при введении РПП. Поэтому, для более полного анализа показанных ниже результатов, вводится термин «дополнительная пористость», которая определяется по формуле:

$$П_d = \left(1 - \frac{\rho_i}{\rho_3}\right), \quad (5.1)$$

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

$\rho_3$  – средняя плотность состава, не включающего НМВ и РПП.

В таблице 5.1 показаны значения дополнительной пористости составов после 28 суток твердения в нормальных условиях.

Таблица 5.1 – Значения дополнительной пористости после 28 суток твердения в НУ

Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Дополнительная пористость для видов цементов, %		
		ПЦ-1	ПЦ-2	ПЦ-3
-	0	0	0	0
	1	7,0	1,39	1,11
	2	6,31	6,39	2,45
	3	8,72	6,33	3,04
МС	0	6,31	0,52	1,75
	1	12,2	5,35	5,95
	2	12,05	7,15	6,65
	3	10,7	8,48	8,41
ВВ	0	9,82	3,89	-1,11
	1	11,4	7,49	2,33
	2	11,5	4,76	4,09
	3	11,0	6,33	5,25

На рисунке 5.1 показана взаимосвязь между изменением предела прочности строительного раствора на сжатие и дополнительной пористостью, которая образована путем включения в состав смеси НМВ и РПП. Предел прочности строительного раствора найден после 28 суток твердения в НУ. Взаимосвязь между изменением предела прочности строительного раствора на сжатие и дополнительной пористостью выражается функцией:

$$\frac{R_p}{R_0} = f(\Pi_d), \quad (5.2)$$

где  $R_p$  – предел прочности строительного раствора, включающего НМВ и (или) РПП,

$R_0$  – предел прочности состава, не включающего НМВ и РПП (эталонный состав).

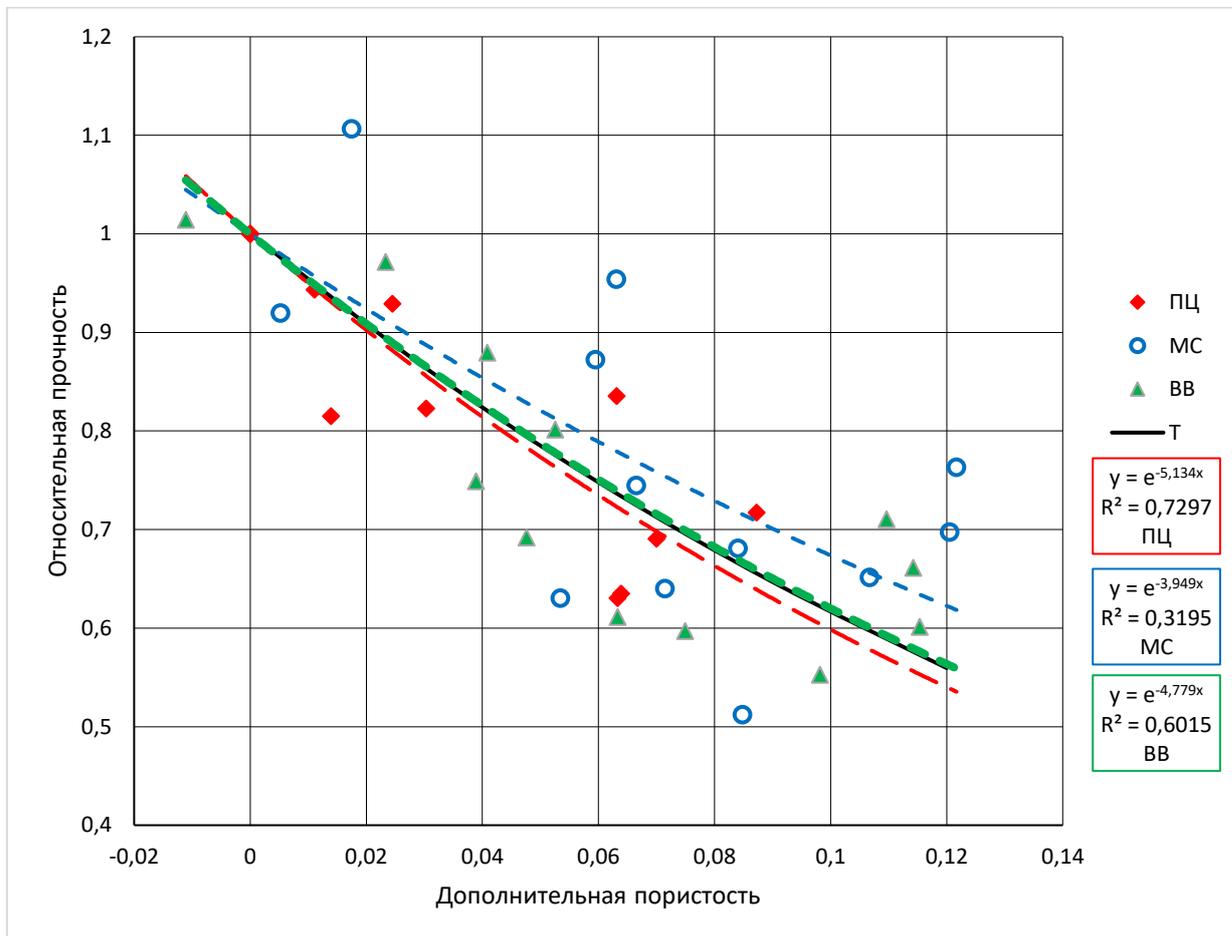


Рисунок 5.1 – Изменение предела прочности строительного раствора на сжатие при взаимосвязи с дополнительной пористостью после 28 суток твердения в НУ; Т – по данным [116]

Величина  $R^2$  в полученных зависимостях, изображенных на рисунке 5.1, имеет достаточно небольшой показатель, поэтому сейчас можно сделать предварительные выводы:

- взаимосвязь между пределом прочности на сжатие и дополнительной пористостью составов без НМВ фактически соответствует ранее составленным соотношениям пористости от прочности цементного камня в работе [116], которая выражается уравнением  $\frac{R_p}{R_0} = \exp(-4,84 \cdot \Pi_d)$ . В рассматриваемом

диапазоне предельное расхождение среднестатистических величин  $\frac{R_p}{R_0}$  не выше 5%;

- взаимосвязь между пределом прочности на сжатие и дополнительной пористостью строительного раствора с ВВ в качестве НМВ в точности соответствует ранее составленным соотношения пористости от прочности цементного камня в работе [116];

- взаимосвязь между пределом прочности на сжатие и дополнительной пористостью строительного раствора с МС в качестве НМВ похожа на ранее определенное соотношение пористости от прочности цементного камня [116], но численно немного различается, особенно это видно при повышении пористости, при  $P_0 = 0,17$  расхождение среднестатистических значений  $\frac{R_p}{R_0}$  достигает 16%.

В таблице 5.2 показаны значения дополнительной пористости составов после 75 циклов замораживания-оттаивания.

Таблица 5.2 – Значения дополнительной пористости после 75 циклов замораживания-оттаивания

Тип НМВ	Дозировка РПП, %	Дополнительная пористость для видов цементов, %		
		ПЦ-1	ПЦ-2	ПЦ-3
-	0	0	0	0
	1	6,65	2,9	5,89
	2	7,57	10,6	7,55
	3	10,6	11,4	7,04
МС	0	4,62	2,26	3,83
	1	10,3	7,94	7,44
	2	12,08	11,4	12,9
	3	11,3	10,1	15,4

Продолжение таблицы 5.2

Тип НМВ	Дозировка РПП, %	ПЦ-1	ПЦ-2	ПЦ-3
ВВ	0	8,2	5,39	2,06
	1	8,79	10,3	6,64
	2	9,77	7,88	5,21
	3	10,8	9,22	7,55

На рисунке 5.2 представлена взаимосвязь между изменением предела прочности строительного раствора на сжатие и дополнительной пористостью, полученной путем введения в состав строительного раствора НМВ и РПП. Предел прочности строительного раствора определен после 28 суток твердения в НУ с последующим выдерживанием 75 циклов замораживания-оттаивания. Дополнительная пористость найдена после циклического замораживания-оттаивания именно перед нахождением предела прочности на сжатие после 75 циклов.

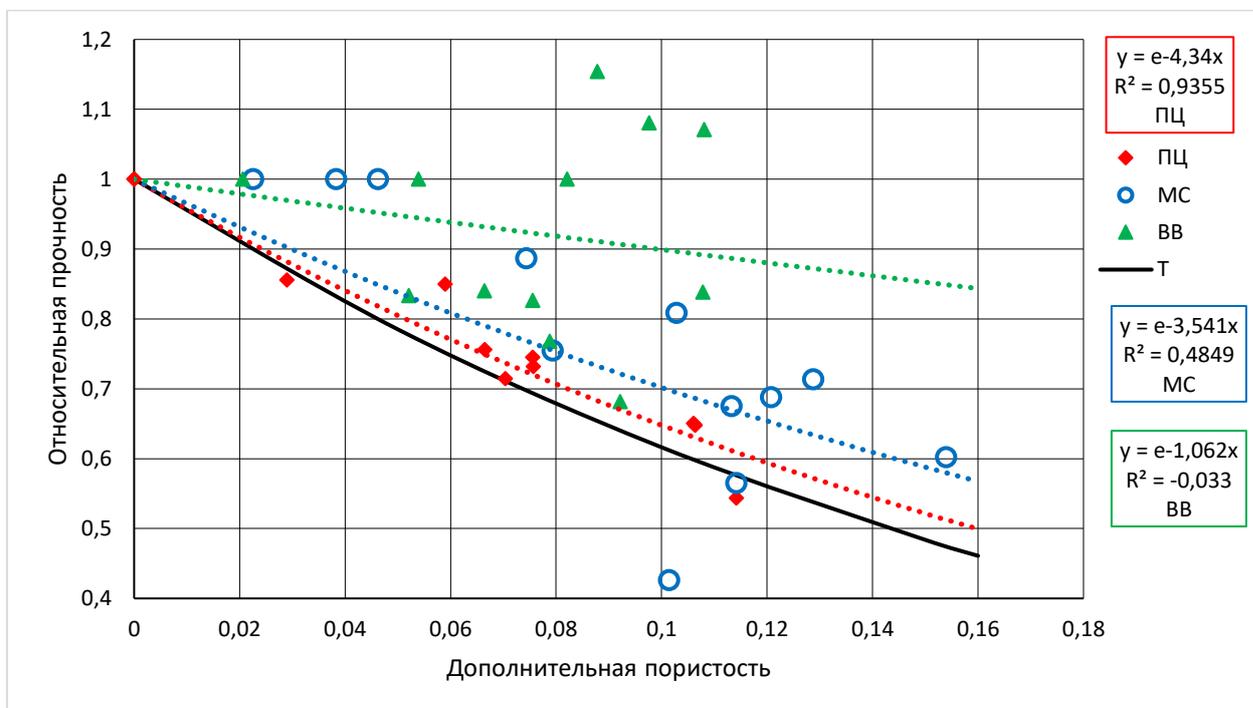


Рисунок 5.2 – Изменение предела прочности строительного раствора на сжатие при взаимосвязи с дополнительной пористостью после 75 циклов замораживания-оттаивания; Т – по данным [116]

В таблице 5.3 показаны соотношения преобразования предела прочности на сжатие  $\frac{R_p}{R_0}$  от дополнительной пористости  $P_0$ , строительного раствора и условий выдерживания на основе результатов на рисунков 5.1 и 5.2.

Таблица 5.3 – Соотношения преобразования предела прочности на сжатие от пористости

Составы	$\frac{R_p}{R_0} =$ при условиях выдерживания	
	28 сут в НУ	28 сут в НУ + 75 циклов замораживания- оттаивания
ПЦ	$\exp(-5,13 \cdot P)$ $R^2 = 0,73$	$\exp(-4,34 \cdot P)$ $R^2 = 0,936$
ПЦ+МС	$\exp(-3,95 \cdot P)$ $R^2 = 0,32$	$\exp(-3,54 \cdot P)$ $R^2 = 0,485$
ПЦ+ВВ	$\exp(-4,78 \cdot P)$ $R^2 = 0,6$	$\exp(-1,06 \cdot P)$ $R^2 = -0,033$
По данным [116]	$\exp(-4,84 \cdot P)$ $R^2 = 0,62$	-

По данным, показанным на рисунке 5.2 и таблице 5.3, можно заключить следующее:

- взаимосвязь между пределом прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью составов без НМВ фактически соответствует ранее составленным соотношениям пористости от прочности цементного камня в работе [116], которая выражается уравнением  $\frac{R_p}{R_0} = \exp(-4,84 \cdot P)$ . В рассматриваемом диапазоне предельное расхождение среднестатистических величин  $\frac{R_p}{R_0}$  не выше 9%;

- взаимосвязь между пределом прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью строительного раствора с МС в качестве НМВ похожа на выше найденное соотношение пористости от прочности цементного камня [116], но численно немного различается, особенно это видно при повышении пористости, при  $P_d = 0,17$  расхождение среднестатистических значений  $\frac{R_p}{R_0}$  достигает 25%.

- взаимосвязь между пределом прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью строительного раствора с ВВ в качестве НМВ имеет качественное и численное различие от ранее полученной зависимости в работе [116], а также от взаимосвязей строительных растворов с ВВ после 28 суток твердения в НУ, определенной в данной работе (рисунок 5.1). Причину можно объяснить следующим: во-первых, в составах с небольшим содержанием ВВ происходит понижение предела прочности на сжатие основных образцов после 75 циклов замораживания-оттаивания; во-вторых, в составах с большим содержанием ВВ приостанавливается понижения прочности после 75 циклов замораживания-оттаивания;

- величина  $R^2$  в полученных зависимостях имеет небольшой показатель, что отмечает существенное воздействие на величину  $\frac{R_p}{R_0}$ , кроме дополнительной пористости и других причин – вида цемента и РПП, его дозировки. Наблюдается во всех случаях известная закономерность – с увеличением пористости происходит понижение предела прочности.

Чтобы установить уровень воздействия дополнительной пористости на морозостойкость строительных растворов по критерию прочности рассмотрим изменение величины  $\frac{R_F}{R_{HY}}$  от дополнительной пористости (рисунок 5.3), где  $R_F$  – предел прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания,  $R_{HY}$  – предел прочности на сжатие после 28 суток твердения в НУ.

По данным, изображенным на рисунке 5.3, можно сделать предварительные выводы:

- показатель достоверности аппроксимации имеет небольшое значение, что подчеркивает существенное воздействие на величину  $\frac{R_p}{R_0}$ , кроме дополнительной пористости и других причин – вида цемента и РПП, его дозировки, а также формы дополнительной пористости, ее замкнутость;

- рекомендуемые значения дополнительной пористости для практического назначения: при введении ВВ в качестве НМВ более 3%, при введении МС – более 6% по объему, для строительных растворов без НМВ увеличение дополнительной пористости не рекомендуется выше 6%.

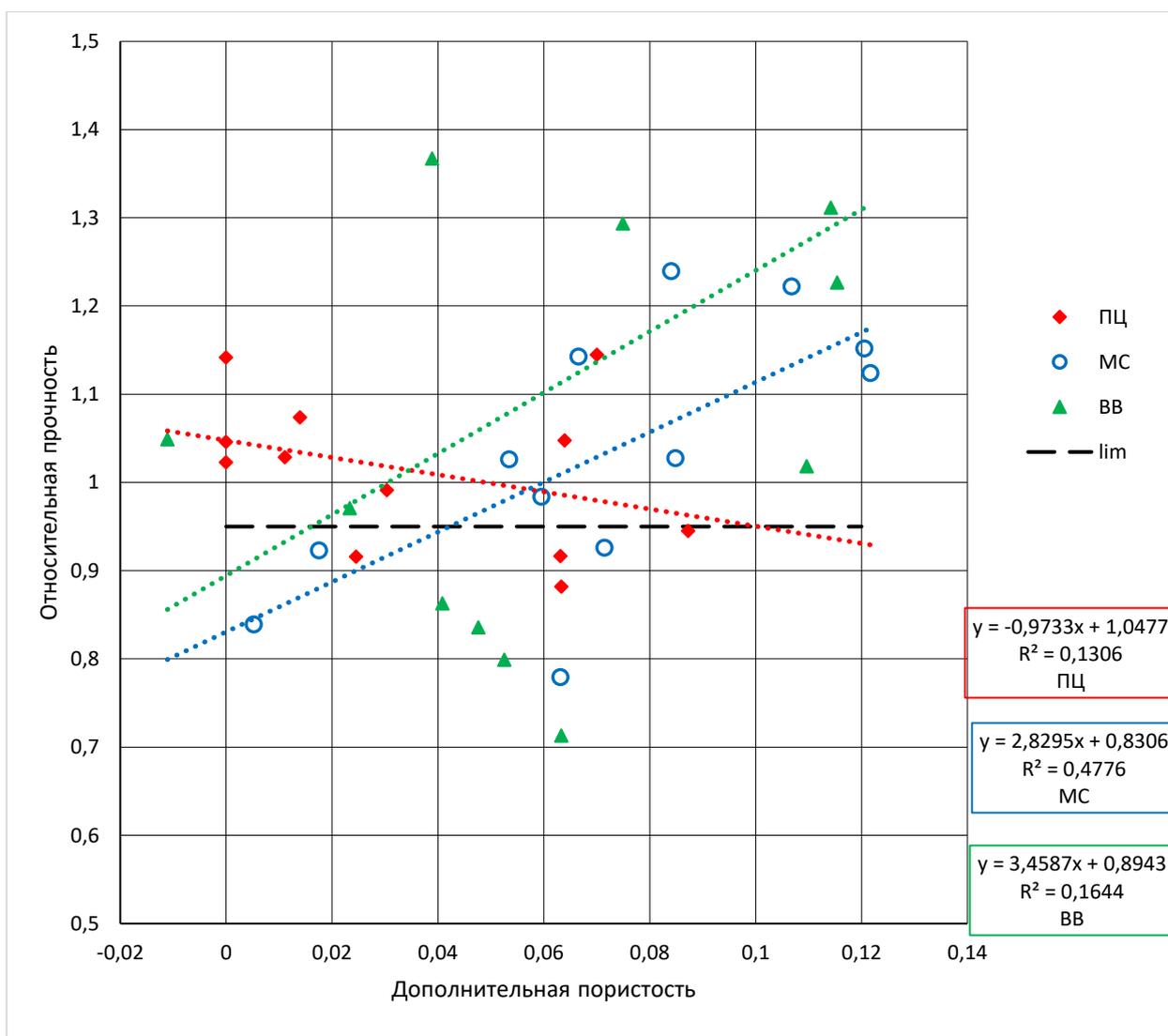


Рисунок 5.3 – Взаимосвязь между относительной прочностью строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью; lim – возможное по ГОСТ 10060 снижение предела прочности

Для более глубокого анализа воздействия дополнительной пористости на морозостойкость изучаемых строительных растворов задается понятие «организованный объем НМВ». Этот объем количественно равен разнице двух видов дополнительной пористости, полученной при включении в состав смеси: НМВ вместе с РПП, только РПП. Значения организованного объема НМВ показаны в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Значения организованного объема НМВ

Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Организованный объем НМВ для видов цементов, %		
		ПЦ-1	ПЦ-2	ПЦ-3
МС	0	6,31	0,52	1,75
	1	5,17	3,95	4,84
	2	5,74	0,75	4,2
	3	1,95	2,15	5,37
ВВ	0	9,81	3,89	-1,11
	1	4,42	6,1	1,22
	2	5,22	-1,63	1,63
	3	2,24	0	2,22

На рисунке 5.4 представлена взаимосвязь между относительной прочностью строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания и организованным объемом НМВ.

По данным, показанным на рисунке 5.4, видно:

- в составах с НМВ в виде ВВ кроме организованного объема, воздействие других факторов происходит в меньшей степени ( $R^2 = 0,762$ ) по сравнению с составами с добавкой МС, у которых  $R^2 = 0,078$ ;

- вне зависимости от типа НМВ, если значение организованного объема НМВ более 2%, величина коэффициента морозостойкости после 75 циклов замораживания-оттаивания соответствует допустимому пределу – не менее 0,95.

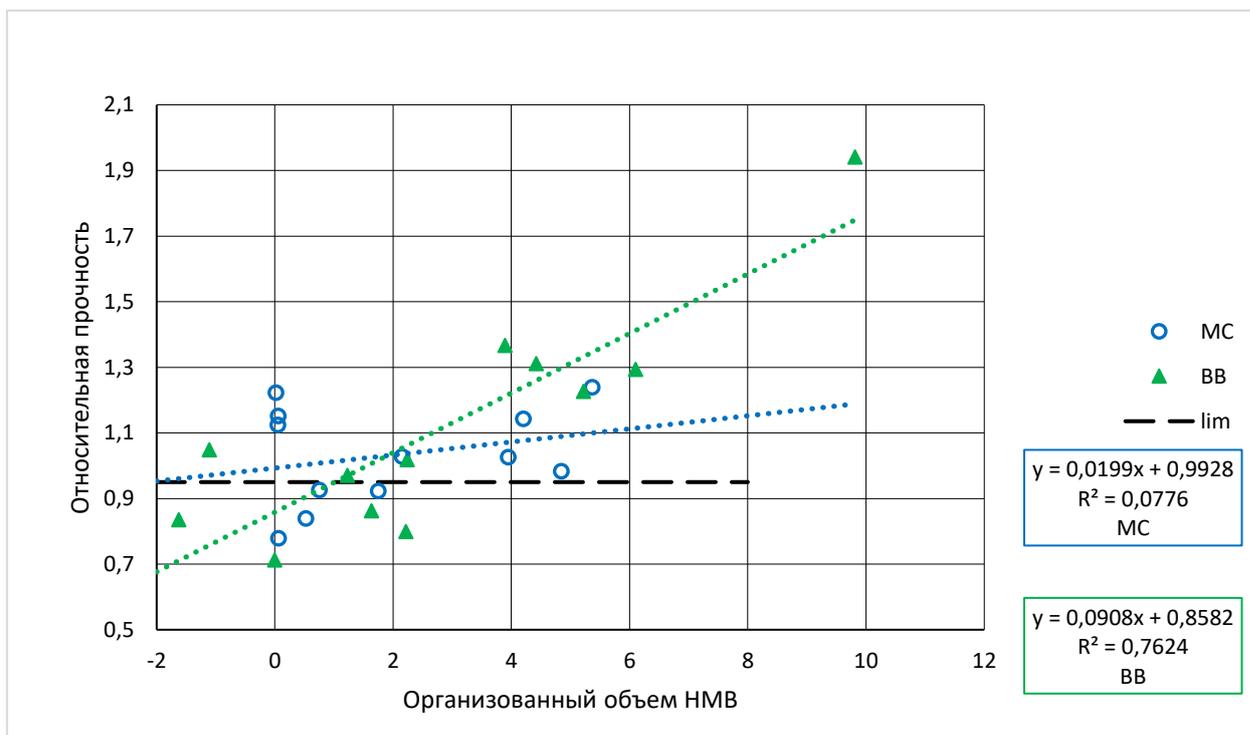


Рисунок 5.4 – Взаимосвязь между относительной прочностью строительного раствора после 75 циклов замораживания-оттаивания и организованным объемом НМВ; lim – регламентируемое по ГОСТ 10060 снижение предела прочности

Разную взаимосвязь цементов с добавкой МС при исследовании строительных растворов, можно объяснить разнообразным химическим и минералогическим составом цементов, то есть нужно принимать во внимание «средство структур» [87].

На рисунке 5.5 представлена взаимосвязь между относительным сцеплением строительного раствора с бетонным основанием  $\frac{A_{s,F}}{A_{s,НУ}}$  и дополнительной пористостью, где  $A_{s,F}$  – сцепление с основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания,  $A_{s,НУ}$  – сцепление с основанием после 28 суток твердения в НУ.

На рисунке 5.6 представлена взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания и организованным объемом НМВ.

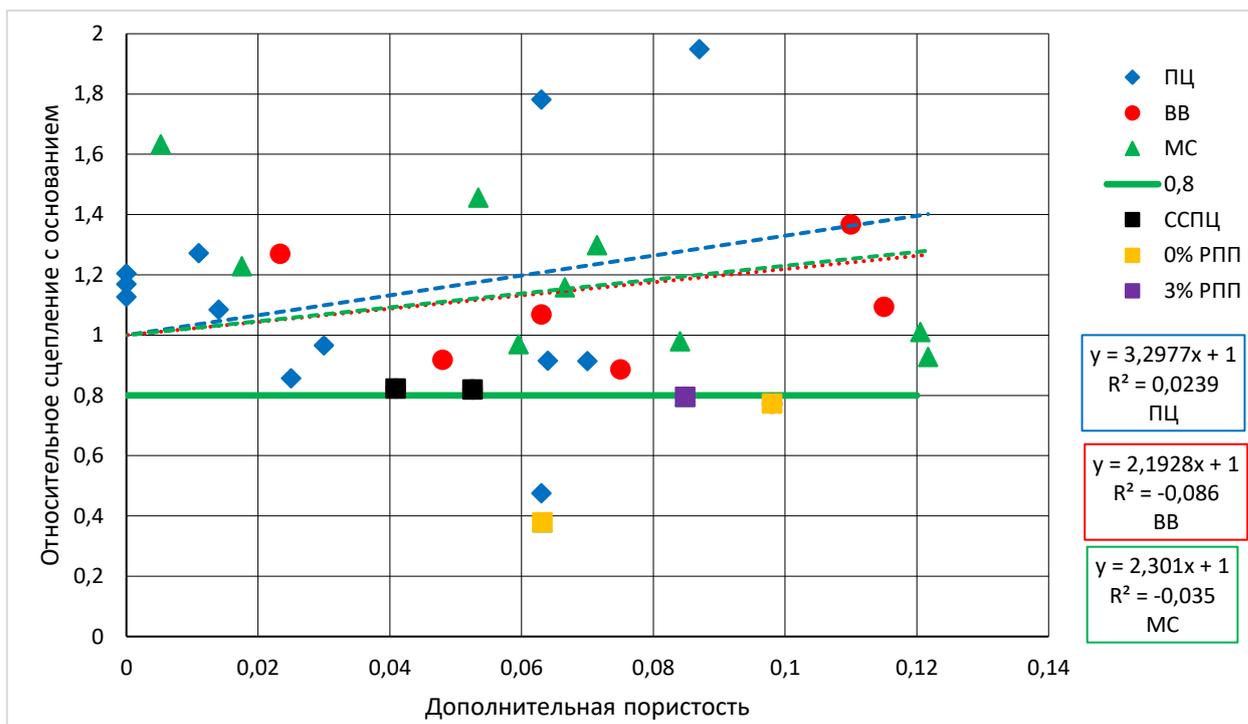


Рисунок 5.5 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью; 0,8 – критерий по ГОСТ 31356; ССПЦ – состав на сульфатостойком цементе; 0%, 3% РПП – дозировка РПП в смеси

По данным, изображенным на рисунках 5.5 и 5.6, можно сделать следующие выводы:

- среднеарифметическая взаимосвязь между преобразованием сцепления с основанием и дополнительной пористостью после 75 циклов замораживания-оттаивания не обусловлена типом НМВ, но величина сцепления зависит от характера дополнительной пористости, от вида цемента и РПП, его дозировки;
- организованный объем с добавкой ВВ не проявляет воздействие на преобразование значения сцепления с бетонным основанием после заданного числа циклов замораживания-оттаивания;
- нерационально вводить в состав смеси НМВ в виде МС в дозировке более 7%;

- необходимо провести дополнительное изучение рациональности использования сульфатостойкого цемента;
- определена оптимальная дозировка РПП 1-2%.

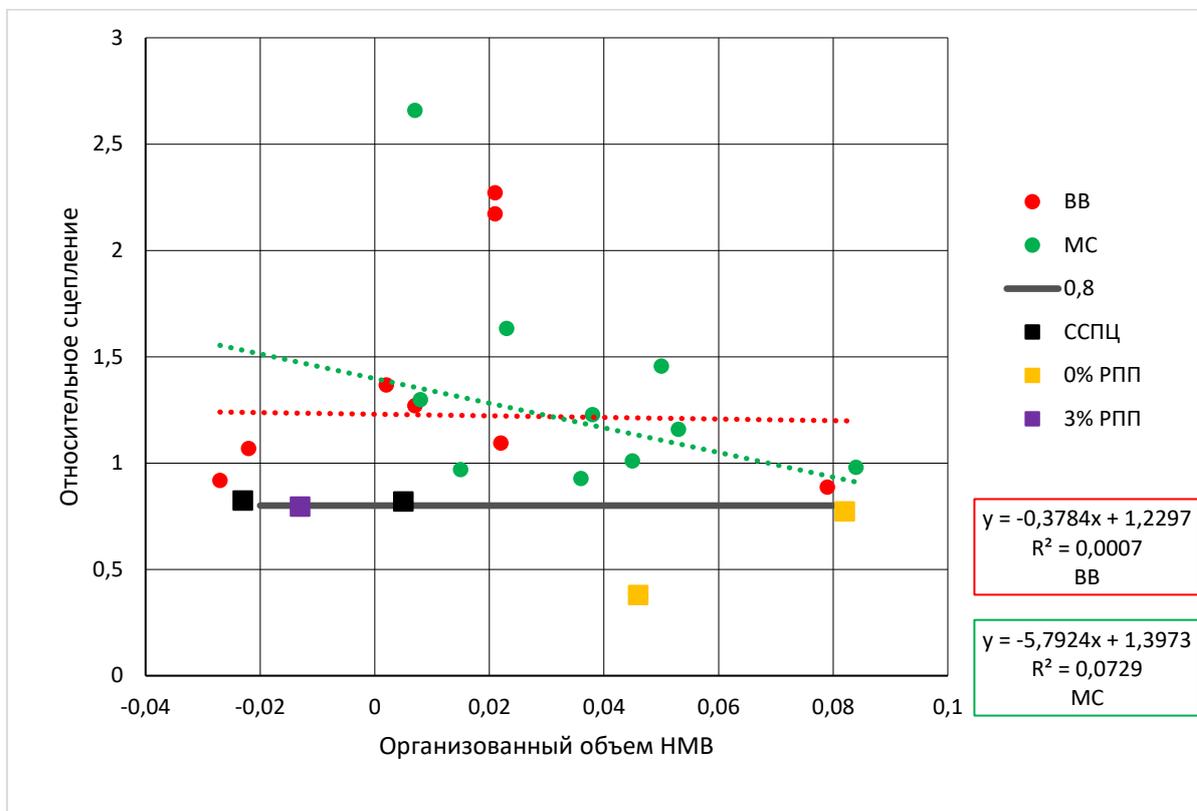


Рисунок 5.6 – Взаимосвязь между сцеплением строительного раствора с бетонным основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания и организованным объемом НМВ; 0,8 – критерий по ГОСТ 31356  
ССПЦ – состав на сульфатостойком цементе;  
0%, 3% РПП – дозировка РПП в смеси

В выводах по количеству вводимой добавки МС существуют некоторые расхождения: по критерию прочности объем вводимой МС должен быть не менее 6%, и не более 7% – по критерию морозостойкости контактной зоны. Поэтому для практических целей для приобретения дополнительных данных о воздействии МС на морозостойкость строительных растворов допускается включение МС в состав сухих строительных смесей в рекомендуемой дозировке 6-7% по объему.

Анализ данных, полученных в результате исследований, показал:

1. Взаимосвязь между пределом прочности на сжатие и дополнительной пористостью составов без НМВ и с ВВ в качестве НМВ после 28 суток твердения в НУ фактически соответствует ранее составленным соотношениям пористости от прочности цементного камня, в рассматриваемом диапазоне предельное расхождение среднестатистических величин  $\frac{R_p}{R_0}$  не выше 5%. Взаимосвязь между пределом прочности на сжатие и дополнительной пористостью строительного раствора с МС в качестве НМВ похожа на выше определенное соотношение пористости от прочности цементного камня, но при повышении пористости наблюдается небольшое понижение воздействия пористости на прочность.

2. Взаимосвязь между пределом прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью составов без НМВ фактически соответствует ранее составленным соотношениям пористости от прочности цементного камня, в рассматриваемом диапазоне предельное расхождение среднестатистических величин  $\frac{R_p}{R_0}$  не выше 9%. Для строительного раствора с МС в качестве НМВ с увеличением пористости наблюдается небольшой спад воздействия пористости на прочность (как и при твердении в НУ), а для строительного раствора с ВВ в качестве НМВ зависимость имеет качественное и численное отличие.

3. Для повышения морозостойкости по критерию прочности строительных растворов рекомендуются следующие значения НМВ: ВВ – более 3%, МС – более 6%. Допускается включение МС по критерию морозостойкости контактной зоны в рекомендуемой дозировке 6-7% по объему. Не установлено действительного воздействия объема ВВ на морозостойкость контактной зоны.

## **5.2 Воздействие ретиспергируемых порошков и низкомодульных включений на морозостойкость контактной зоны затвердевшего строительного раствора**

При определении марки по морозостойкости контактной зоны по ГОСТ 31356, прочность сцепления с основанием устанавливается, как среднеарифметическое значение не менее 5 образцов, и должна быть более 80% от прочности контрольных образцов. Но при определении прочности сцепления коэффициент вариации определенных в серии значений не учитывается. Мало изучены вопросы, связанные с преобразованием внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления и его значениями после 28 суток твердения в нормальных условиях и после циклического замораживания-оттаивания. Также немного данных о соотношении морозостойкости по критериям прочности сцепления с основанием и прочности на сжатие. В результате чего исследования в данной области являются актуальными и представляют теоретический и практический интерес.

Целью настоящего исследования является установление обоснованности преобразования внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с основанием и взаимосвязи между коэффициентом морозостойкости по критерию прочности сцепления и рецептурными факторами строительных растворов различного назначения на цементном вяжущем различных модификаций (комбинации разных видов портландцементов, ретиспергируемых полимерных порошков в дозировке 0-3%, низкомодульных включений). Испытания основных образцов проведены после 75 циклов замораживания-оттаивания, также установлена прочность сцепления составов без НМВ после 25 циклов. Испытания производились на 5 образцах в каждой серии.

В таблице 5.5 представлены величины внутрисерийных коэффициентов вариации прочности сцепления исследуемых составов.

Таблица 5.5– Величины коэффициентов вариации прочности сцепления

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Коэффициенты вариации прочности		$VF / V28A^3$
			$V28^1$	$VF^2$	
ПЦ-1	-	0	0,135	0,228	1,69
		1	0,065	0,267	4,11
		2	0,215	0,316	1,47
		3	0,245	0,24	0,98
ПЦ-2		0	0,445	0,156	0,35
		1	0,154	0,101	0,65
		2	0,102	0,082	0,8
		3	0,082	0,303	3,69
ПЦ-3		0	0,325	0,364	1,12
		1	0,331	0,129	0,39
		2	0,062	0,194	3,12
		3	0,124	0,067	0,54
ПЦ-1	МС	0	0,123	0,775	6,3
		1	0,269	0,126	0,47
		2	0,216	0,476	2,2
		3	0,365	0,056	0,15
ПЦ-2		0	0,185	0,048	0,26
		1	0,379	0,379	1
		2	0,225	0,11	0,49
		3	0,078	0,225	2,88
ПЦ-3		0	0,287	0,344	1,2
		1	0,059	0,071	1,2
		2	0,1	0,4	4
		3	0,068	0,335	4,93

Продолжение таблицы 5.5

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	$V_{28}^1$	$VF^2$	$VF / V_{28A}^3$
ПЦ-1	ВВ	0	0,616	0,572	0,93
		1	0,546	0,178	0,33
		2	0,279	0,041	0,15
		3	0,448	0,146	0,33
ПЦ-2		0	0,279	0,379	1,36
		1	0,173	0,09	0,52
		2	0,078	0,278	3,56
		3	0,109	0,081	0,74
ПЦ-3		0	0,38	0,193	0,51
		1	0,096	0,135	1,41
		2	0,375	0,247	0,66
		3	0,058	0,235	4,05

Примечания: 1 – после 28 суток твердения в нормальных условиях, 2 – после 75 циклов замораживания-оттаивания, 3 – преобразование внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления в результате замораживания-оттаивания

В таблице 5.6 показаны усредненные величины внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления.

На основе данных таблицы 5.6, можно сказать:

- в составах, включающих ВВ, наблюдается снижение усредненных величин внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с основанием после 75 циклов замораживания-оттаивания, у остальных составов – увеличение;

- усредненные величины внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления с основанием существенно превышают усредненные величины коэффициента вариации предела прочности на сжатие, равные 0,055-0,095 (таблица 4.3).

Таблица 5.6 – Усредненная величина внутрисерийного коэффициента вариации

Коэффициент вариации прочности сцепления	Составы				
	ПЦ	ПЦ+МС	ПЦ+ВВ	[48]	ПЦ <sup>1</sup>
<i>V</i> <sub>28</sub>	0,19	0,196	0,286	0,329	-
<i>V</i> <sub>F</sub>	0,204	0,279	0,215	-	0,129

Примечание: 1 – после 25 циклов замораживания-оттаивания

На рисунке 5.7 изображено воздействие различных факторов (вида цемента, типа НМВ и дозировки РПП) на внутрисерийный коэффициент вариации прочности сцепления с основанием рассматриваемых строительных растворов после 28 суток твердения в НУ и после 75 циклов замораживания-оттаивания.

По данным, показанным на рисунке 5.7, видно:

- коэффициент вариации прочности сцепления с основанием изученных составов обусловлен видом ПЦ, наличием и типом НМВ;

- при включении в строительные растворы РПП не прослеживается определенной закономерности изменения величин коэффициента вариации прочности сцепления с основанием, отмечается как увеличение, так и уменьшение данной величины;

- изменение величин коэффициента вариации прочности сцепления происходит в большом интервале 0,058-0,775, то есть на порядок.

Коэффициент морозостойкости прочности сцепления с основанием по ГОСТ 31356 определяется по формуле:

$$k_{F,A} = \frac{A_F}{A_0} > 0,8, \quad (5.3)$$

где  $A_F$ ,  $A_0$  – соответственно прочность сцепления с бетонным основанием основных образцов после  $N$  циклов замораживания-оттаивания и контрольных образцов.

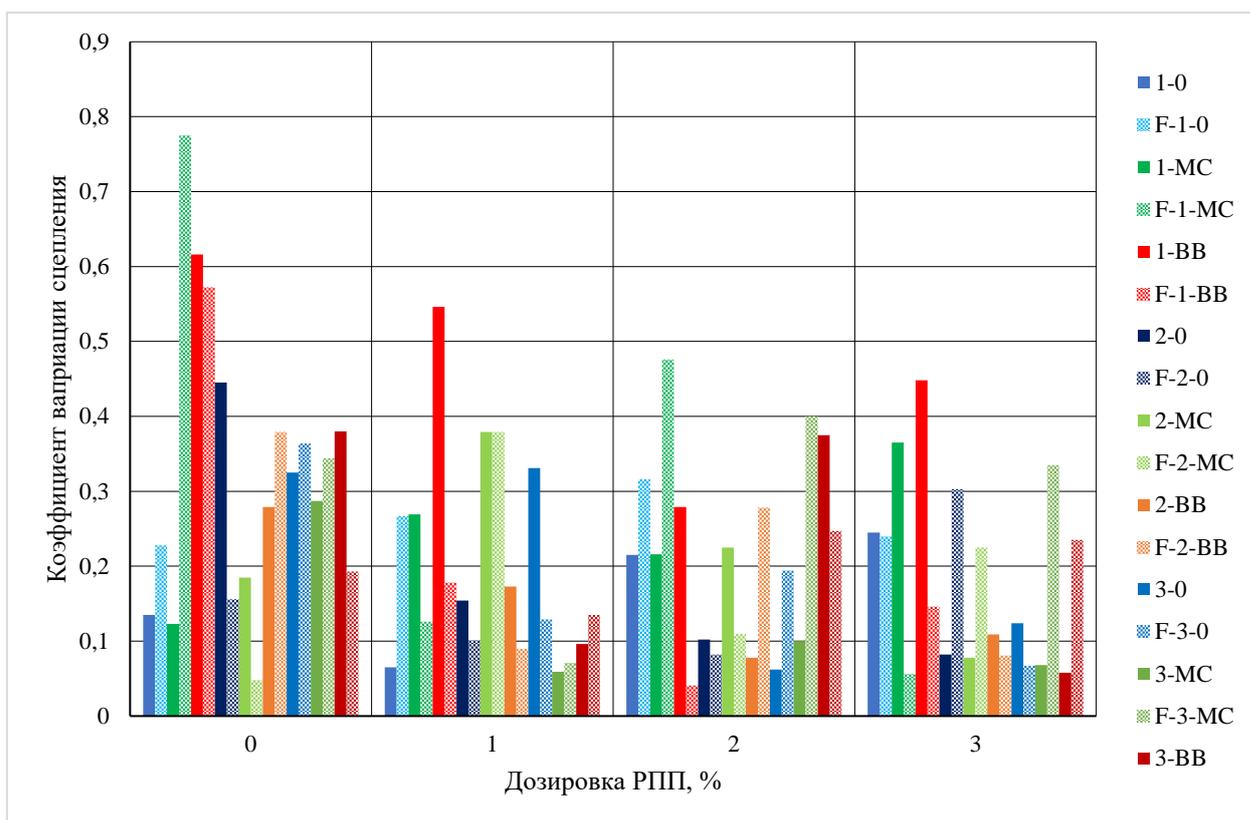


Рисунок 5.7 – Воздействие вида цемента, типа НМВ и дозировки РПП на внутрисерийный коэффициент вариации прочности сцепления с основанием;

F – составы после 75 циклов замораживания-оттаивания;

1,2,3 – виды цементов; 0 – не содержит НМВ, MC, BB – тип НМВ

В соответствии с ГОСТ 10060, п. 5.2.4, нижний порог доверительного интервала прочности сцепления с основанием выражается формулами:

$$A_{F,lim} = A_F \cdot (1 - \beta \cdot v_F), \quad (5.4)$$

$$A_{0,lim} = A_0 \cdot (1 - \beta \cdot v_0), \quad (5.5)$$

где  $A_{F,lim}$ ,  $A_{0,lim}$  – нижний доверительный интервал прочности сцепления с основанием с учетом внутрисерийного коэффициента вариации основных образцов после  $N$  циклов замораживания-оттаивания и контрольных образцов,  $\beta$  –  $t$ -критерий Стьюдента ( для 5 образцов – 2,776),

$v_F, v_0$  – внутрисерийный коэффициент вариации прочности сцепления основных и контрольных образцов.

В работе принимаем

$$v_F = t \cdot v_0 . \quad (5.6)$$

Тогда, в соответствии с ГОСТ 31356, соотношение коэффициентов морозостойкости без учета  $k_{F,A}$  и с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления  $k_{F,v}$  можно сформулировать так:

$$k_{F,v} = \frac{A_{F,lim}}{A_{0,lim}} = \frac{A_F}{A_0} \cdot \frac{1-\beta \cdot t \cdot v_0}{1-\beta \cdot v_0} = k_{F,A} \cdot k_v > 0,8. \quad (5.7)$$

Функция  $k_v$  значительно обусловлена степенью преобразования внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления после циклического замораживания-оттаивания  $t$ , к тому же с ростом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления контрольных образцов усиливается степень влияния  $t$  на функцию  $k_v$ . Поэтому целесообразно сравнение полученных коэффициентов морозостойкости прочности сцепления, найденных без учета и с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления.

В таблице 5.7 представлены значения коэффициентов морозостойкости по сцеплению исследуемых составов без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности  $K_{F, A}$  и с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности  $K_{F, v}$ .

Таблица 5.7 – Значения коэффициентов морозостойкости по сцеплению

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	Коэффициенты морозостойкости	
			$K_{F, A}$	$K_{F, v}$
ПЦ-1	-	0	1,18	0,75
		1	0,91	0,34
		2	1,78	0,75
		3	1,95	2,02

Продолжение таблицы 5.7

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	$K_{F, A}$	$K_{F, v}$
ПЦ-2		0	1,2	5
		1	1,09	1,33
		2	0,92	0,98
		3	0,48	0,13
ПЦ-3		0	1,12	0,43
		1	1,27	5,72
		2	0,85	0,51
		3	0,97	1,17
ПЦ-1	МС	0	0,38	0
		1	0,92	2,03
		2	1,01	0
		3	2,64	36,56
ПЦ-2		0	1,63	2,72
		1	1,45	0,75
		2	1,3	2,22
		3	0,8	0,42
ПЦ-3		0	1,23	0,54
		1	0,97	0,93
	2	1,15	0	
	3	0,99	0,17	
ПЦ-1	ВВ	0	0,76	0,61
		1	2,26	3
		2	1,09	3,44
		3	1,37	5,6

Продолжение таблицы 5.7

Цементы	Вид НМВ	Дозировка РПП, %	$K_{F, A}$	$K_{F, v}$
ПЦ-2		0	5,54	0,48
		1	0,89	1,23
		2	0,92	0,33
		3	1,07	1,17
ПЦ-3		0	2,15	49,5
		1	1,27	1,1
		2	0,83	8,61
		3	0,82	0,38

В таблице 5.8 представлены среднеарифметические величины коэффициентов морозостойкости по сцеплению.

Таблица 5.8 – Среднеарифметические величины коэффициентов морозостойкости

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

По данным, показанным в таблице 5.8, видно:

- среднеарифметические величины коэффициента морозостойкости по критерию прочности сцепления без учета внутрисерийного коэффициента вариации выше допустимого значения по ГОСТ – 0,8;

- среднеарифметические величины коэффициента морозостойкости с учетом внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления существенно выше допустимого значения по ГОСТ – 0,8 и превосходят

среднеарифметические величины коэффициента морозостойкости по критерию прочности сцепления без учета внутрисерийного коэффициента вариации.

На рисунке 5.8 показана взаимосвязь коэффициента морозостойкости прочности сцепления  $k_{F,A}$ , найденного без учета внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления (по ГОСТ 31356) с преобразованием внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления после циклического замораживания-оттаивания  $t = \frac{V_F}{V_{28A}}$ .

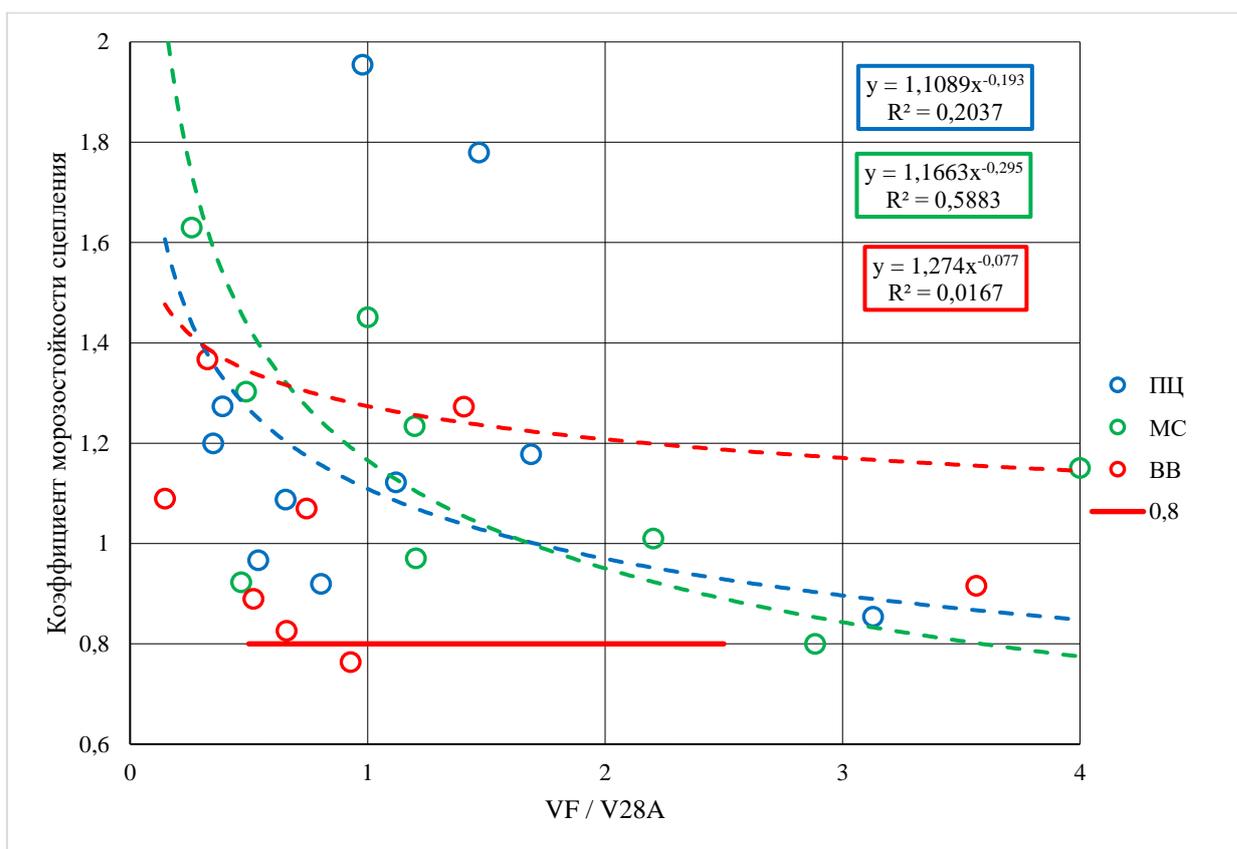


Рисунок 5.8 – Взаимосвязь коэффициента морозостойкости сцепления (по ГОСТ 31356) исследованных строительных растворов с преобразованием внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления после циклического замораживания-оттаивания; ПЦ – состав без НМВ, МС и ВВ – составы с НМВ; 0,8 – критерий по ГОСТ 31356

По данным, изображенным на рисунке 5.8, видно:

- очевидной взаимосвязи коэффициента морозостойкости прочности сцепления  $K_{F,A}$  с преобразованием коэффициента вариации прочности сцепления

не отмечено, наблюдается тенденция – со снижением коэффициента вариации прочности сцепления во время циклического замораживания-оттаивания происходит рост коэффициента морозостойкости прочности сцепления;

- коэффициент вариации прочности сцепления обусловлен как минимум методикой испытаний (центрирования, линейных размеров образцов), то вероятно, что при процедуре циклического замораживания-оттаивания до некоторого количества циклов, обусловленного морозостойкостью состава, происходит увеличение однородности структуры и прочности сцепления. Этот эффект ранее был установлен при оценке морозостойкости затвердевших строительных растворов по критерию прочности на сжатие.

На рисунке 5.9 показана взаимосвязь коэффициента морозостойкости прочности сцепления  $k_{F,A}$ , найденного с применением внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления (по формуле 5.7) с преобразованием внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления после циклического замораживания-оттаивания  $\frac{V_F}{V_{28A}}$ .

По данным, показанным на рис. 5.9, видно, что взаимосвязь коэффициента морозостойкости прочности сцепления (по формуле 5.7) с преобразованием коэффициента вариации прочности сцепления, по сравнению с предыдущим примером, более близкая. Для всех составов наблюдается прямая тенденция увеличения коэффициента морозостойкости прочности сцепления со снижением преобразования коэффициента вариации прочности сцепления во время циклического замораживания-оттаивания. В составах с МС в качестве НМВ показатель  $R^2 = 0,86 > 0,8$ , поэтому данная зависимость может быть применена для практических целей. На основе полученных результатов можно предварительно заключить, коэффициент морозостойкости прочности сцепления (по формуле 5.7), при соблюдении условия  $V_F / V_{28A} < 1$ , будет соответствовать требованиям ГОСТ 31356.

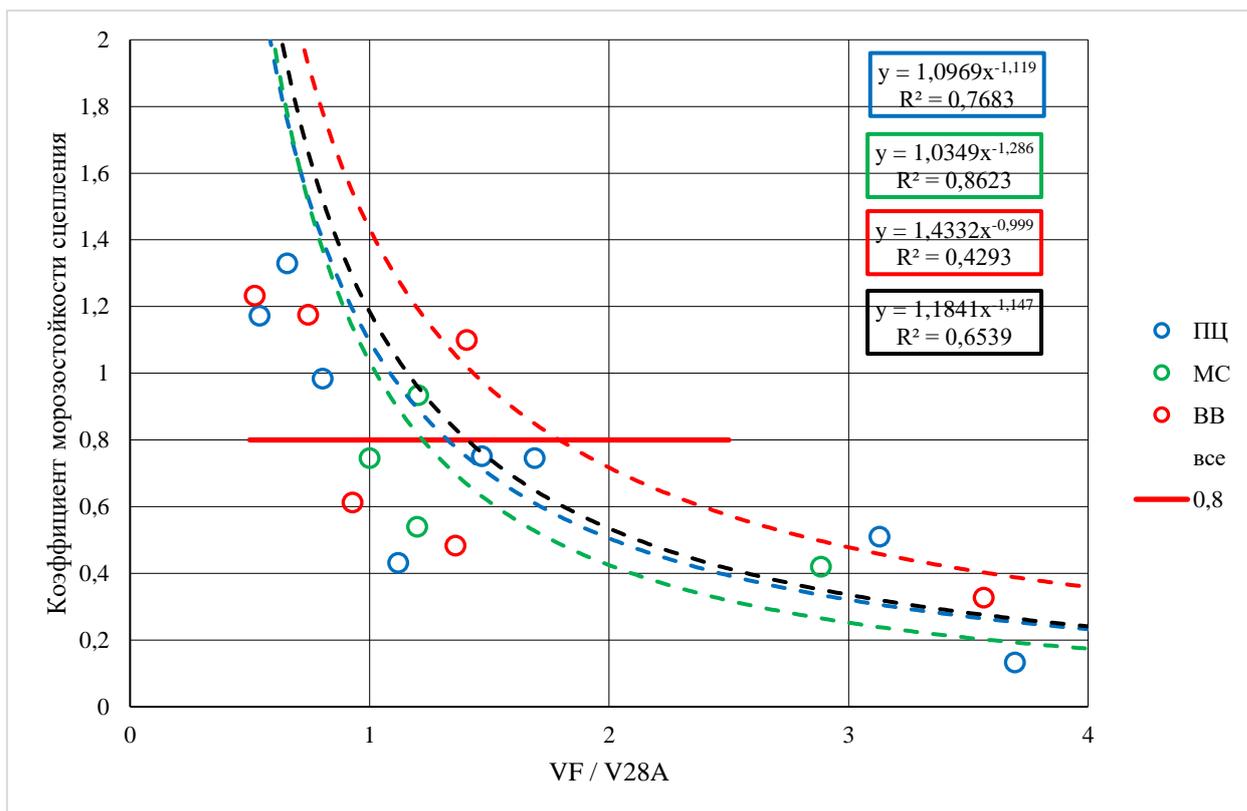


Рисунок 5.9 – Взаимосвязь коэффициента морозостойкости прочности сцепления (по формуле 5.7) исследованных строительных растворов с преобразованием внутрисерийного коэффициента вариации прочности сцепления после циклического замораживания-оттаивания; ПЦ – состав без НМВ, MC и ВВ – составы с НМВ; 0,8 – критерий по ГОСТ 31356

На рисунке 5.10 показана зависимость преобразования коэффициента вариации предела прочности на сжатие ( $VF / V28R$ ) от коэффициента вариации прочности сцепления ( $VF / V28A$ ) после 75 циклов замораживания-оттаивания при дозировке РПП от 0 до 3%.

По данным, показанным на рис. 5.10 можно заключить, только в составах с дозировкой РПП 3% прослеживается взаимосвязь между преобразованием коэффициентов вариации предела прочности на сжатие и прочности сцепления после заданного числа циклов замораживания-оттаивания. Это можно считать признаком качественного изменения структуры строительного раствора при сравнительно большой дозировке РПП.

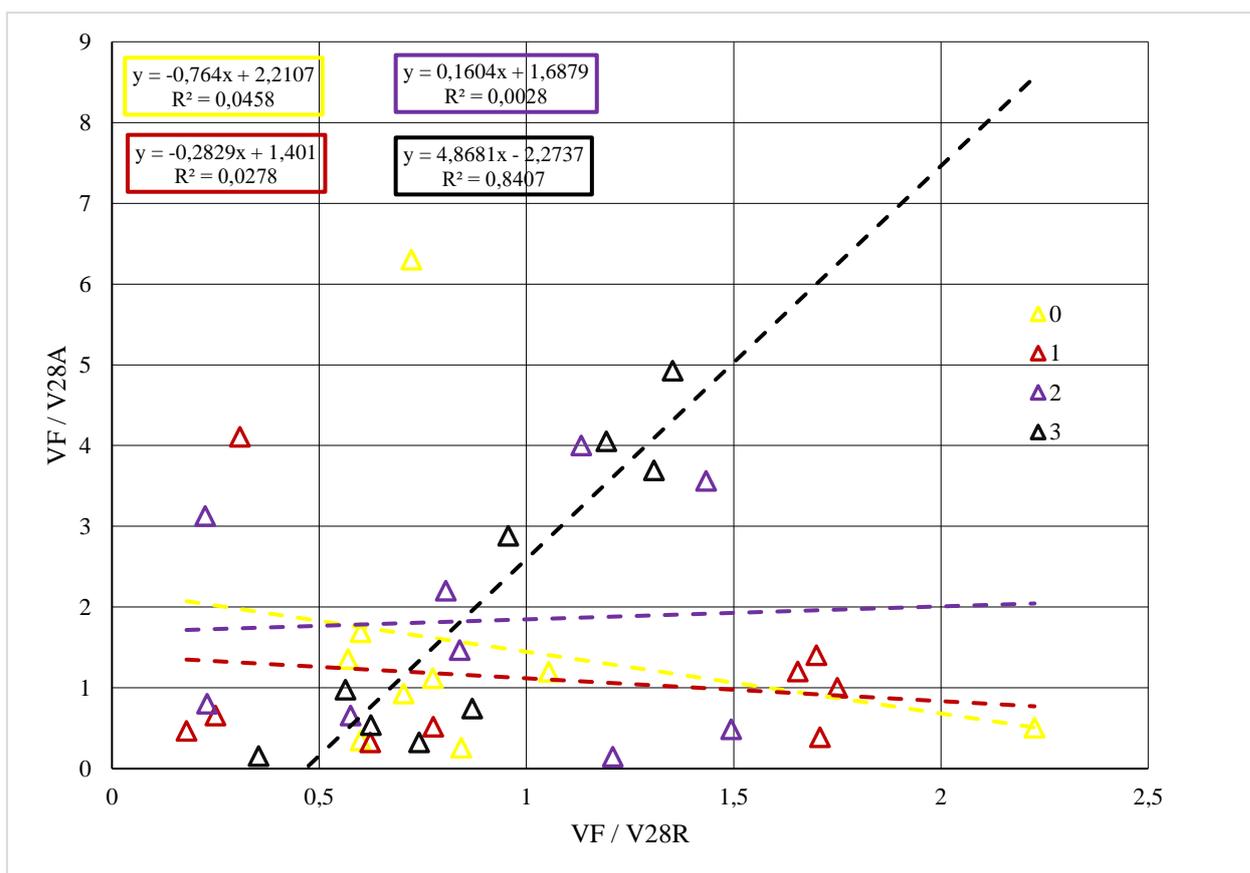


Рисунок 5.10 – Зависимость преобразования при циклическом замораживании-оттаивании коэффициента вариации прочности сцепления от коэффициента вариации предела прочности на сжатие;

0 – 3 – дозировка РПП, %

На рисунке 5.11 показана взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по критерию сцепления с бетонным основанием (ГОСТ 31356 формула 5.3) и внутрисерийным коэффициентом вариации прочности сцепления после 28 суток твердения в НУ.

По данным, изображенным на рисунке 5.11, видно, что не наблюдается общей взаимосвязи между коэффициентом вариации прочности сцепления после 28 суток твердения в НУ и коэффициентом морозостойкости прочности сцепления по формуле 5.3. Отмечена тенденция с увеличением коэффициента вариации прочности сцепления уменьшения коэффициента морозостойкости. Данный характер зависимости является логичным, так как для морозостойких растворов не свойственно повышение неоднородности структуры. Вот только в

значении коэффициента вариации невозможно отделить определенную долю, связанную с неоднородностью структуры или методикой испытаний.

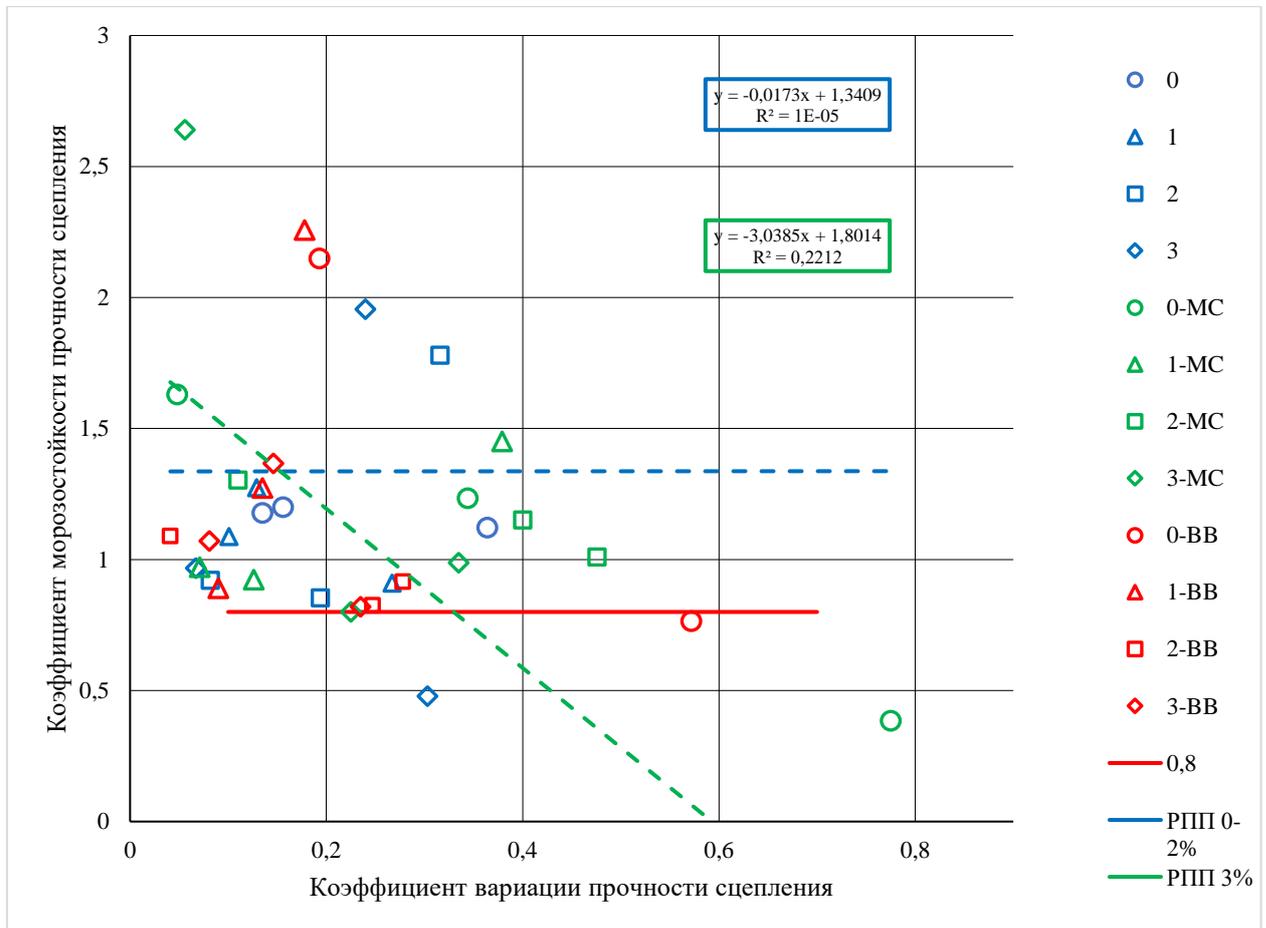


Рисунок 5.11 – Взаимосвязь между коэффициентом морозостойкости строительного раствора по критерию прочности сцепления с бетонным основанием (ф-ла 5.3) и внутрисерийным коэффициентом вариации сцепления после 28 суток твердения в НУ; 0,1,2,3 – дозировка РПП; 0, МС, ВВ – тип НМВ (0 – НМВ отсутствует); 0,8 – допустимое по ГОСТ 31356 значение

В таблице 5.9 показаны сведения о воздействии на коэффициент вариации различных показателей.

Таблица 5.9 – Сведения о коэффициенте вариации  
прочности сцепления и прочности на сжатие

Составы	Показатели				
	Количество серий	Среднее значение (по прочности сцепления)		Диапазон изменения	
		28 сут	75 ц	28 сут	75 ц
ПЦ	12	0,19	0,204	0,062-0,445	0,067-0,364
ПЦ+МС	12	0,196	0,279	0,059-0,379	0,048-0,775
ПЦ+ВВ	12	0,286	0,215	0,058-0,616	0,041-0,572
все	36	0,224	0,232	0,058-0,616	0,041-0,775
все (по прочности сжатия)	36	0,075	0,059	0,029-0,2	0,016-0,13
ПЦ <sup>2</sup>	15	-	0,129 <sup>1</sup>	-	0,016-0,352 <sup>1</sup>
ПЦ <sup>3</sup>	28	0,257	-	0,049-0,498	-
ПЦ <sup>4</sup>	15	0,321	-	0,072-0,891	-
[24]	15	0,162	-	0,029-0,709	-

Примечания: 1 – после 25 циклов замораживания-оттаивания; 2-4 – результаты предыдущих испытаний

На рисунке 5.12 показаны сведения о частоте расположения значений коэффициентов вариации прочности сцепления и прочности на сжатие.

Проанализировав данные рисунка 5.12, можно отметить:

- видно значительное расхождение величин коэффициентов вариации прочности сцепления и прочности на сжатие при разных условиях выдерживания: после твердения в НУ, после циклического замораживания-оттаивания. При этом величины коэффициента вариации прочности сцепления до 3 раз превышают величины коэффициента вариации прочности на сжатие;

- после 25 циклов наблюдается понижение коэффициента вариации прочности сцепления с дальнейшим повышением после 75 циклов.

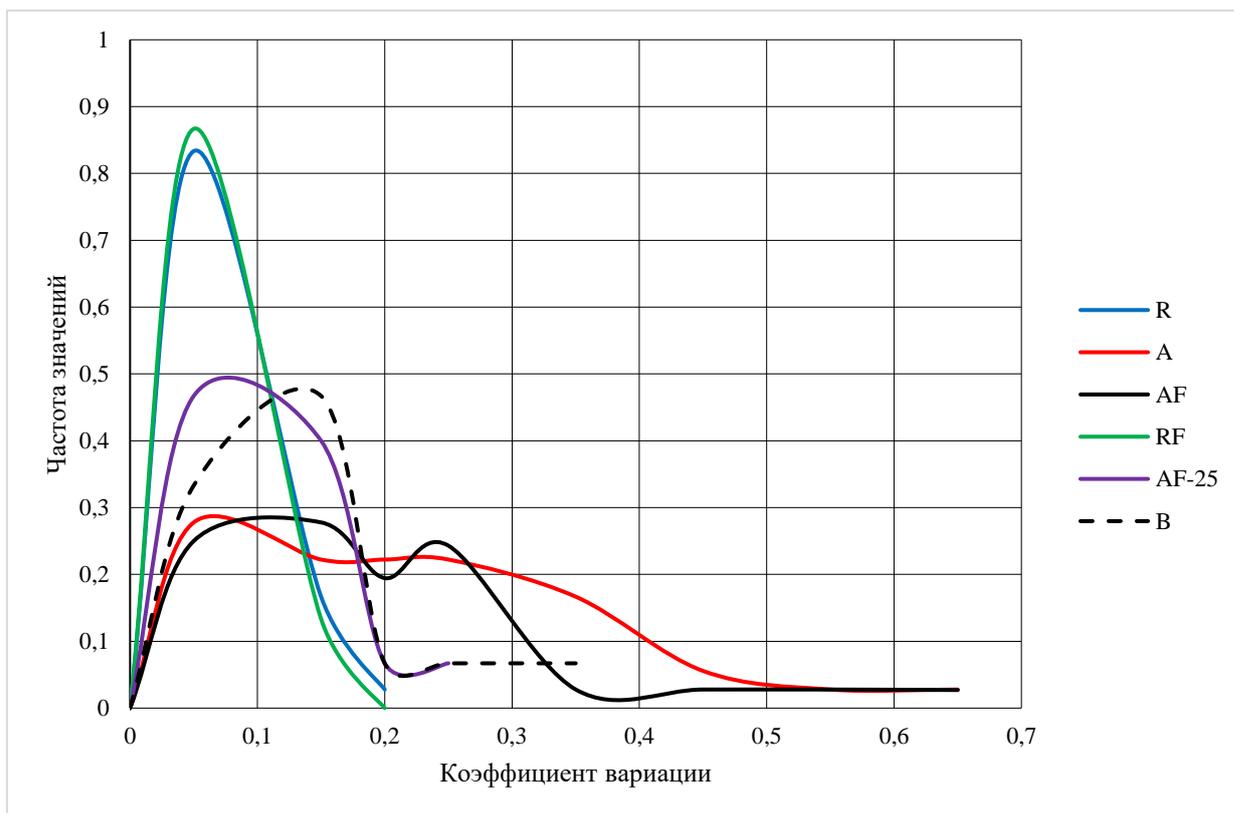


Рисунок 5.12 – Частота расположения значений коэффициентов вариации при выдерживании 28 суток в НУ: R – предела прочности на сжатие; A – прочности сцепления; B – прочности сцепления по данным [24]; после 75 циклов замораживания-оттаивания: RF, AF; после 25 циклов замораживания-оттаивания - AF-25

Установлено в некоторых случаях, что коэффициент вариации прочности на растяжение (растяжение при изгибе) бывает немного выше, чем при сжатии. Но в данном исследовании обнаружен противоположный факт. Значения коэффициента вариации морозостойкости до 3 раз больше значений коэффициента вариации прочности на сжатие. Нельзя отнести обнаруженное в ряде случаев значительное превышение коэффициента вариации прочности сцепления по сравнению с прочностью на сжатие только к однородности структуры, так как диапазон значений коэффициента вариации прочности сцепления высок – от весьма высоких до низких. Очевидно, методика проведения испытаний оказывает большое влияние.

В ГОСТ 31356 отмечены случаи, в которых фактическая величина сцепления превышает измеренную, действительное значение которой определить невозможно. Методика проведения испытаний несовершенна, при определении прочности сцепления на результаты измерений влияет много факторов: работа шарнира в приборах, «центральность» отрыва. Поэтому требуется модернизация методики измерения прочности сцепления и в плане обработки результатов, и с технической стороны. Использовать вычисление коэффициента вариации морозостойкости по критерию прочности сцепления по формуле 5.7 при вероятно высоких величинах коэффициента вариации прочности сцепления нерационально.

Проанализировав данные, полученные в результате исследований, можно подвести следующие итоги:

1. Получены среднеарифметические величины коэффициента вариации прочности сцепления: после 75 циклов замораживания-оттаивания - 0,232, диапазон от 0,041-0,775, после 25 циклов замораживания-оттаивания средняя величина составила 0,129, интервал от 0,016 до 0,352. Коэффициент вариации прочности сцепления превышает величины коэффициента вариации прочности на сжатие примерно в 2,5 – 3 раза.

2. Не отмечено определенной закономерности изменения величин коэффициента вариации прочности сцепления с основанием, при включении в составы строительных растворов РПП. Наблюдается как рост, так снижение коэффициента вариации прочности сцепления с основанием, причем колебание значений может быть на порядок.

3. У всех составов наблюдается тенденция – со снижением коэффициента вариации прочности сцепления происходит рост коэффициента морозостойкости прочности сцепления, это видно и после твердения в НУ, в ходе циклического замораживания-оттаивания. Коэффициент морозостойкости прочности сцепления, найденный с учетом коэффициента вариации, при выполнении условия  $V_F / V_{28A} < 1$ , будет отвечать требованиям ГОСТ 31356.

## Выводы по главе 5

1. Установлены взаимосвязи между пределом прочности на сжатие и дополнительной пористостью в составах после 28 суток твердения в НУ с ранее составленными соотношениями пористости от прочности для цементного камня:

- в строительных растворах без НМВ и с НМВ в виде ВВ данные зависимости соответствует ранее составленным зависимостям, расхождение составляет не более 5%;

- в составах с МС в качестве НМВ зависимости подобны, но при повышении пористости наблюдается небольшое понижение воздействия пористости на прочность.

2. Установлены взаимосвязи между пределом прочности на сжатие после 75 циклов замораживания-оттаивания и дополнительной пористостью в НУ с ранее составленными соотношениями пористости от прочности для цементного камня:

- зависимости составов без НМВ фактически соответствует ранее составленным зависимостям, расхождение не выше 9%;

- в составах с МС в качестве НМВ с увеличением пористости наблюдается небольшой спад воздействия пористости на прочность;

- с ВВ в качестве НМВ зависимость имеет качественное и численное отличие.

3. Определены рекомендуемые дозировки НМВ для повышения морозостойкости по критерию прочности строительных растворов: ВВ – не менее 3%, МС – более 6%. Рекомендуется по критерию морозостойкости контактной зоны оптимальное значение МС 6-7% по объему. Не установлено действительного воздействия объема ВВ на морозостойкость контактной зоны.

4. Получены среднеарифметические величины коэффициента вариации прочности сцепления после 75 циклов замораживания-оттаивания, которые превышают величины коэффициента вариации прочности на сжатие примерно в 2,5 – 3 раза.

5. Не установлено определенной закономерности влияния РПП на изменения величин коэффициента вариации прочности сцепления с основанием.

6. Установлено, что коэффициент морозостойкости прочности сцепления, найденный с учетом коэффициента вариации, при выполнении условия  $V_F / V_{28A} < 1$ , будет отвечать требованиям ГОСТ 31356.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Развита научные представления 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 внутрисерийного коэффициента вариации (ГОСТ 10060-2012), которые составили в среднем («без учета» / «с учетом») в растворах без НМВ 1,012 / 1,185, в растворах с МС 1,044 / 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.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Адгезия (клеи, цементы, припои) [Текст]: научное издание / под ред. Н. Дебройна, Р. Гувинка; пер. с англ. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1954 г. – 582 с.
2. Акимов, С.Ю. Технология сухих строительных смесей на кварцосодержащих цементах с химическими добавками [Текст]: научное издание / С.Ю. Акимов // Экология и строительство. – 2015. – №2. – С. 8-12.
3. Алексеев, А.В. Опыт экспрессного определения морозостойкости бетона транспортных сооружений [Текст]: научное издание / А.В. Алексеев, А.Д. Дикун, В.Я. Фишман и др. // Строительные материалы. – 2005. – №8. – С. 55–57.
4. Альжанова, А.Ж. Влияние составов сухих строительных смесей на технические свойства строительных материалов [Текст]: научное издание / А.Ж. Альжанова, А.К. Зайнутдинов, Б.К. Сарсенбаев // Управление инновациями: теория, методология, практика. – 2016. – №18. – С. 56-59.
5. Аниканова, Л.А. Исследование паропроницаемых растворов из сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / Л.А. Аниканова, О.В. Волкова, А.Н. Хуторной // Вестник ТГАСУ. – 2016. – №3. – С. 146-155.
6. Аубакирова, И.У. О применении гидроизоляционных смесей [Текст]: научное издание / И.У. Аубакирова, В.Д. Староверов // Сухие строительные материалы. – 2012. – №5. – С. 35-37.
7. Афанасьев, Н.Ф. Добавки в бетоны и растворы [Текст]: научное издание / Н.Ф. Афанасьев, М.К. Целуйко. – К.: Будивэльник, 1989. – 128 с.
8. Бабков, В.В. Структурообразование и разрушение цементных бетонов [Текст]: научное издание / В.В. Бабков, В.Н. Мохов, С.М. Капитонов и др. – Уфа: Уфимский полиграфкомбинат. – 2002. – 376 с.
9. Бабков, В.В. Работа штукатурных покрытий современных теплоэффективных наружных стен зданий [Текст]: научное издание / В.В. Бабков, Д.А. Синицын, А.Е. Чуйкин и др. // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №8. – С. 22-29.
10. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны [Текст]: научное издание / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
11. Баталин, Б.С. Исследование эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания: Материалы конференции. – 2007. – №7. – С. 71-73.
12. Безбородов, В. А. Сухие смеси в современном строительстве [Текст]: научное издание / В. А. Безбородов, В. И. Белан, П. И. Мешков и др. – Новосибирск: НГАСУ. – 1998. – 94 с.

13. Белан, И.В. Сухие строительные смеси с волокнистыми техногенными и полимерными добавками: Автореф. Дис. ... к. т. н. – Томск, 2015. – 24 с.
14. Белова, Т.К. Штукатурные растворы с улучшенными эксплуатационными свойствами на основе модифицированных сухих строительных смесей // Вестник Евразийской науки. – 2019. – №3. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http // esj.today/PDF/06SAVN319.pdf](http://esj.today/PDF/06SAVN319.pdf)
15. Белых, С.А. Сухие строительные смеси с повышенной адгезионной прочностью для отделки кирпичных поверхностей во влажных помещениях [Текст]: научное издание / С.А. Белых, А.И. Кудяков, А.А. Чикичев // Вестник ТГАСУ. – 2017. – №1. – С. 122-133.
16. Бийтц, Р. Химические добавки для улучшения качества строительных растворов [Текст]: научное издание / Р. Бийтц, Х. Динденау // Строительные материалы. – 1999 г. – №3. – С. 13-15.
17. Большаков, Э.Л. Гидроизоляционные материалы, получаемые по технологии сухих смесей / Э.А. Большаков // Сборник докладов 1-й МНТК «Гидроизоляционные материалы-XXI век. AquaSTOP». – СПб.: ЭЛБИ-СПБ, 2001. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http // www.alitmix.ru/info/articles](http://www.alitmix.ru/info/articles)
18. Бобрышев, А.И. Отделочные клеевые растворы на основе сухих строительных смесей с использованием комплексных порошковых полимерных добавок: Дис. ...к. т. н. – Пенза, 2003. – 205 с.
19. Бондаренко, А.И. Сухие строительные смеси для самовыравнивающихся полов на основе композиционного вяжущего: Автореф. дис. ... к. т. н. – Белгород, 2012. – 26 с.
20. Бородуля, А.В. Сухие строительные смеси на цементной основе с улучшенными теплозащитными свойствами: Автореф. дис. ... к. т. н. – Санкт-Петербург, 2004. – 38 с.
21. Бурлов, Ю.А. Сухие строительные смеси ОАО «Подольск-цемент» [Текст]: научное издание / Ю.А. Бурлов, И.Ю. Бурлов, Т.В. Кузнецова // Сухие строительные смеси. – 2015. – №4. – С. 16-17.
22. Бычкова, О.А. Клей быстрой фиксации на основе гипсоглиноземистого расширяющегося цемента и портландцемента / О.А. Бычкова // Инженерный вестник Дона (электронный научный журнал). – 2018. – № 3. Режим доступа: [http: //www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5102](http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5102)
23. Бычкова, О.А. Быстротвердеющие стяжки на основе гипсоглиноземистого расширяющегося цемента и портландцемента / О.А. Бычкова // Инженерный вестник Дона (электронный научный журнал). – 2018. – № 3. Режим доступа: [http: //www. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103](http://www. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5103)

24. Бычкова, О.А. Состав и свойства модифицированного гипсоглиноземистого расширяющегося цемента и сухих строительных смесей на его основе: Автореф. дис. ... к. т. н. 05.23.05. – Махачкала: ДГТУ, 2018. – 24 с.
25. ГОСТ 31357-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Общие технические условия. – М.: Стандартиформ, 2008. – 11 с.
26. ГОСТ Р 56387-2015 Смеси сухие строительные клеевые на цементном вяжущем. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2015. – 29 с.
27. ГОСТ 31189-2015 Смеси сухие строительные. Классификация. – М.: Стандартиформ, 2015. – 14 с.
28. ГОСТ 31356-2007 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. – М.: Стандартиформ, 2008. – 16 с.
29. ГОСТ 33699-2015 Смеси сухие строительные шпатлевочные на цементном вяжущем. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2016. – 11 с.
30. ГОСТ 33083-2014 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия. – М.: Стандартиформ, 2015. – 12 с.
31. ГОСТ 310.4-81 Цементы. Методы определения предела прочности при изгибе и сжатии. – М.: Стандартиформ, 1981. – 11 с.
32. ГОСТ 10060-2012 Бетоны. Методы определения морозостойкости. – М.: Стандартиформ, 2014 г. – 16 с.
33. ГОСТ 12730.4-78 Бетоны. Методы определения показателей пористости. – М.: Стандартиформ, 2007 г. – 7 с.
34. ГОСТ 12730.3-78 Бетоны. Метод определения водопоглощения. – М.: Стандартиформ, 2007 г. – 5 с.
35. Голунов, С.А. Модификация плиточных клеев редисперсионными полимерными порошками VINNAPAS [Текст]: научное издание / С.А. Голунов // Строительные материалы. – М., 2004 г. – №3. – С.47-50.
36. Голик, В.И. Сухие строительные смеси на основе отходов горного производства [Текст]: научное издание / В.И. Голик, Ю.И. Разоренов, В.И. Комащенко // Сухие строительные смеси. – 2017. – №5. – С. 19-25.
37. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для строительных работ [Текст]: научное издание / Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова // Строительные материалы. – М., 2001. – №4. – С. 8-10.
38. Гонтарь, Ю.В. Сухие шпатлевочные смеси улучшенного качества для внутренних и наружных работ [Текст]: научное издание / Ю.В. Гонтарь // Сухие строительные смеси. – 2012. – №1. – С. 39-41.
39. Горшкова, А.В. Сухие строительные смеси с модифицирующей добавкой на основе торфа: Автореф. дис. ... к. т. н. – Томск, 2015. – 24 с.

40. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона в конструкциях гидротехнических сооружений [Текст]: научное издание / Г.И. Горчаков, М.М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 190 с.
41. Грановский, А.В. Экспериментальное определение нормального и касательного сцепления кладки из ячеисто-бетонных блоков автоклавного твердения на различных клеевых составах [Текст]: научное издание / А.В. Грановский, А.А. Вишневский, Г.И. Гринфельд // Строительные материалы. – 2015. – №8. – С. 22-25.
42. Гусев, Н.И. Полимерцементные композиции для наружной отделки пенобетонных стен [Текст]: научное издание / Н.И. Гусев, М.В. Кочеткова, К.С. Паршина // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2, 2014. – С. 74-78.
43. Дворкин, Л.И. Сухие строительные смеси для поризованных растворов [Текст]: научное издание / Л.И. Дворкин, Ю.В. Гарницкий, В.В. Марчук // Сухие строительные смеси. – 2013. – №2. – С. 20-23.
44. Дворкин, Л.И. Проектирование оптимальных составов сухих смесей на малоклинкерном шлакопортландцементе [Текст]: научное издание / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, Ю.А. Степасюк // Сухие строительные смеси. – 2015. – №1. – С. 25-28.
45. Дворкин, Л.И. Адгезионная способность строительных растворов с пылевидным гранитным наполнителем [Текст]: научное издание / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин, С.С. Стрихарчук // Сухие строительные смеси. – 2016. – №1. – С. 24-26.
46. Дергунов, С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства) [Текст]: научное издание / С.А. Дергунов, С.А. Орехов. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 106 с.
47. Деркач, В.Н. Прочность нормального сцепления цементных растворов в каменной кладке [Текст]: научное издание / В.Н. Деркач // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – №7. – С. 6-13.
48. Дервянко, В.Н. Методы определения адгезионной прочности наружных отделочных растворов [Текст]: научное издание / В.Н. Дервянко, А.П. Полтавцев, Д.А. Гудыменко // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2008. – № 1-2 (120). – С. 18-22.
49. Джабиров, Н.В. Сравнительные характеристики методов испытаний и области применения сухих строительных смесей для штукатурных работ / Н.В. Джабиров, Т.А. Иванова // Современные научные исследования и инновации. – 2017. – №12. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://web.snauka.ru/issues/2017/12/85265>

50. Дмитриев, Ю.А. К вопросу твердения строительных растворов на основе сухих смесей [Текст]: научное издание / Ю.А. Дмитриев, Л.Х. Загороднюк, Д.А. Сумской и др. // Материалы конференции «Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства». – 2016 г. – т.1 – С. 256-262.
51. Дружинкин, С.В. Сухие строительные смеси на основе цеолитсодержащих пород: Автореф. дис. ... к. т. н. – Красноярск, 2010. – 26 с.
52. Ерофеев, В.Т. Сухие строительные смеси, модифицированные биоцидной добавкой [Текст]: научное издание / В.Т. Ерофеев, Е.Н. Сураева, А.Д. Богатов и др. // *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. – 2012. – №8. – С. 93-100.
53. Жегера, К.В. Разработка клеевой сухой строительной смеси с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов: Автореф. дис. ... к. т. н. – Пенза, 2016. – 23 с.
54. Загороднюк, Л.Х. Сухие строительные смеси для самовыравнивающихся напольных покрытий [Текст]: научное издание / Л.Х. Загороднюк, А.Ю. Щекина, О.А. Павленко. – Белгород: БГТУ, 2016. – 102 с.
55. Загороднюк, Л.Х. Теоретические основы создания сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик, Е.С. Глагоев и др. // *Вестник БГТУ им. Шухова*. – 2016. – №9. – С. 40-52.
56. Загороднюк, Л.Х. Повышение эффективности строительных смесей с учетом характеристик базовой поверхности: Дис. ... д. т. н. – Белгород, 2014. – 681 с.
57. Загороднюк, Л.Х. Теплоизоляционные растворы пониженной плотности [Текст]: научное издание / Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик, Д.А. Сумской // *Строительные материалы и изделия*. – 2018. – т.1, №1. – С. 40-50.
58. Заднепровский, Р.П. Об эффективности и перспективах использования нанокремниевых микродобавок для сухих смесей [Текст]: научное издание / Р.П. Заднепровский // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*. – 2011. – №8. – С. 22-25.
59. Заднепровский, Р.П. Оценка эффективности активации жидкой фазы строительных смесей на их адгезионные и когезионные свойства [Текст]: научное издание / Р.П. Заднепровский, Н.В. Карева // *Сухие строительные смеси*. – 2011. – №2. – С. 24-28.
60. Захаров, С.А. Влияние комплексного минерального модификатора МетаМикс-1 на свойства плиточного клея [Текст]: научное издание / С.А. Захаров, С.П. Сивков, Е.Н. Потапова и др. // *Сухие строительные смеси*. – 2013. – №6. – С. 16-19.

61. Землянская, А.Г. Редиспергируемые порошки VINAVIL от компании Bang and Bonsomer / А.Г. Землянская // Материалы конференции BALTIMIX-2018. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http // baltimix.ru/confer\\_archive/reports/doclad18/BB\\_2018.pdf](http://baltimix.ru/confer_archive/reports/doclad18/BB_2018.pdf)
62. Захезин, А.Е. Влияние редиспергируемых порошков на свойства цементных строительных растворов [Текст]: научное издание / А.Е. Захезин, Т.Н. Черных, Б.Я. Трофимов и др. // Строительные материалы. – 2004. – №10. – С.6-8.
63. Зимакова, Г.А. Зольные механоактивированные микросферы – компонент высокоэффективных бетонов [Текст]: научное издание / Г.А. Зимакова, В.А. Солонина, М.П. Зелиг // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – №12(54). – С. 90-94.
64. Зиновьев, А.А. Кладочные растворы повышенной высоло- и морозостойкости с добавками микрокремнезема и омыленного таллового пека [Текст]: научное издание / А.А. Зиновьев, А.И. Кудяков, Н.В. Дворянинова. – Братск: Изд-во БГУ, 2011. – 159 с.
65. Ильинская, Г.Г. Сухие отделочные строительные смеси на композиционных вяжущих: Автореф. дис. ... к. т. н. – Белгород, 2012. – 22 с.
66. Карапузов, Е.К. Сухие строительные смеси [Текст]: научное издание / Е.К. Карапузов, Г. Лутц, Х. Герольд. – К.: Техника, 2000. – 226 с.
67. Каприелов, С.С. Новые модифицированные бетоны [Текст]: научное издание / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Г.С. Кардумян. - М.: Парадиз, 2010. – 258 с.
68. Каталог продукции компании «Велкомс +». [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http //welcomsplus.ru](http://welcomsplus.ru)
69. Каталог продукции компании «ЕвроХим-1». Добавки для производства сухих строительных смесей. 2015. – 56 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http //chem.eurohim.ru/catalog](http://chem.eurohim.ru/catalog)
70. Каталог продукции научно-технической фирмы «Эфиры целлюлозы». Добавки для сухих строительных смесей. – 37 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http //docplayer.ru/41230022-Efiry-cellyulozy-nauchno-tehnicheskaya-firma.html](http://docplayer.ru/41230022-Efiry-cellyulozy-nauchno-tehnicheskaya-firma.html)
71. Коваленко, А.В. Влияние модифицирующих добавок на свойства ремонтно-защитных сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / А.В. Коваленко // Сборник научных трудов SWorld. – 2015 г. – Т.6 , №1 (38). – С. 95-101.
72. Козлов, В.В. Сухие строительные смеси [Текст]: научное издание / В.В. Козлов. – М.: АСВ, 2000. – 96 с.

73. Коренькова, С.Ф. Адгезионная прочность модифицированных цементных композиций [Текст]: научное издание / С.Ф. Коренькова, Ю.В. Сидоренко, А.М. Гурьянов // Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – №6. – С. 102-103.

74. Коровкин, М.О. Оптимизация состава вяжущего для сухих строительных напольных смесей / М.О. Коровкин, Н.А. Ерошкина // Инженерный вестник Дона (электронный научный журнал). – 2015. – № 1, ч.2. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/nlp2y2015/2833>

75. Корнеев, В.И. Сухие строительные смеси (состав, свойства): учеб. пособие [Текст]: научное издание / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2010. – 320 с.

76. Компания «DOW Construction Chemicals». Брошюра: обзор продукции. 2012. – 36 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://storage.dov.com.engesuite.net/dov.com/Russia/pdfs/ru/840-00207.pdf>

77. Кривцов, Е.Е. Исследование характеристик наномодифицированных сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / Е.Е. Кривцов, Н.М. Никулин, Е.В. Ясинская // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №2. – 29-32.

78. Кудяков, А.И. Морозостойкие кладочные растворы с добавками микрокремнезема и омыленного таллового пека [Текст]: научное издание / А.И. Кудяков, А.А. Зиновьев, Н.В. Дворянинова // Вестник ТГАСУ. – 2008. – №4. – С. 99-105.

79. Кудяков А.И. Смеси сухие растворные цементные с микрогранулированной воздухововлекающей добавкой [Текст]: научное издание / А.И. Кудяков, С.А. Белых, А.М. Даминова // Строительные материалы. – 2010. – №1. – С. 52-54.

80. Кузьмина, В.П. Особенности применения сухих строительных смесей при проведении отделочных работ в различных климатических условиях. Часть 1 [Текст]: научное издание / В.П. Кузьмина // Сухие строительные смеси. – 2017. – №6 (62). – С. 34-39.

81. Кузьмина, В.П. Производство и применение модифицирующих добавок в сухих строительных смесях [Текст]: научное издание / В.П. Кузьмина // Сухие строительные смеси. – 2017. – №1 (57). – С. 20-26.

82. Кузьмина, В.П. Наполнители для сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / В.П. Кузьмина // Сухие строительные смеси. – 2017. – №3. – С. 8-15.

83. Кунцевич, О.В. Бетоны высокой морозостойкости для сооружений Крайнего Севера [Текст]: научное издание / О.В. Кунцевич. – Л.: Стройиздат, 1983. – 132 с.

84. Лесовик, В.С. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ [Текст]: научное издание / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, Д.А. Беликов и др. // Строительные материалы. – 2014. – №7. – С. 82-85.

85. Лесовик, В.С. Сродство структур как теоретическая основа проектирования композитов будущего [Текст]: научное издание / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, И. Л. Чулкова и др. // Строительные материалы. – 2015. – №9. – С. 18-22.

86. Лесовик, В.С. Теоретические подходы к созданию оптимальных структур сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, Е.С. Глаголев и др. // Вестник БГТУ им. Шухова. – 2016. – №10. – С. 6-11.

87. Лесовик, В.С. К проблеме проектирования сухих ремонтных смесей с учетом сродства структур [Текст]: научное издание / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, Д.А. Беликов // Вестник РААСН. – 2014. - № 18. – С.112-119.

88. Литвиненко, С.В. Конструирование реологических свойств строительных смесей [Текст]: научное издание / С.В. Литвиненко // Сухие строительные смеси. – 2014. – №3. – С. 37-40.

89. Логанина, В.И. Плиточные сухие строительные смеси с применением синтезированных алюмосиликатов [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Сухие строительные смеси. – 2014. – №2. – С. 36-37.

90. Логанина, В.И. Реологические свойства плиточного клея с применением синтезированных алюмосиликатов [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Приволжский научный журнал. – 2015. – №1. – С. 46-50.

91. Логанина, В.И. Применение синтезированных алюмосиликатов в рецептуре плиточного клея [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №1. – С. 59-63.

92. Логанина, В.И. Оптимизация состава плиточного клея с применением синтезированных алюмосиликатов [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, Р.В. Тарасов, К.В. Жегера // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 40-44.

93. Логанина, В.И. Оценка эффективности использования синтезированных алюмосиликатов в цементных системах [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Академический вестник Уралниипроект. – 2014. – №3. – С. 84-87.

94. Логанина, В.И. Применение добавки на основе гидросиликатов кальция в сухих строительных смесях [Текст]: научное издание / В.И. Логанина,

Л.В. Макарова, К.А. Сергеева // Сухие строительные смеси. – 2012. – №1. – С. 16-17.

95. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости отделочного слоя на основе сухой клеевой смеси с применением синтезированных алюмосиликатов [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, М.В. Арискин, О.В. Карпова и др. // Строительные материалы. – 2015. – №10. – С. 86-88.

96. Логанина, В.И. Оценка морозостойкости плиточного клея на цементной основе с применением в рецептуре добавки на основе аморфных алюмосиликатов [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №2 (31). – С. 32-36.

97. Логанина, В.И. Достоверность контроля качества сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, А.Н. Перекусихина, А.Д. Рыжов // Вестник МГСУ. – 2017. – т.2, №1 (100). – С. 36-40.

98. Логанина, В.И. Нормативная обеспеченность качества сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / В.И. Логанина, Е.И. Куимова, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – №1. – С. 37-41.

99. Лотошникова, Е.О. Возможности использования минеральных пористых компонентов в качестве демпфирующих добавок для бетонов / Е.О. Лотошникова, Л.М. Усепян, В.Н. Телегина и др. // Инженерный вестник Дона (электронный научный журнал). – 2018. – № 2. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/4821>

100. Лукаш, Е.В. Магнезиальный цемент в производстве сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / Е.В. Лукаш, М.И. Кузьменков // Сухие строительные смеси. – 2016. – №5. – С. 13-15.

101. Манушина, А.С. Влияние минеральных и полимерных добавок на свойства плиточного клея [Текст]: научное издание / А.С. Манушина, А.В. Урбанов, А.М. Ахмеджанов и др. // Сухие строительные смеси. – 2016. – №2. – С. 17-20.

102. Мешков, П.И. Способы оптимизации составов сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / П.И. Мешков, В.А. Мокин // Строительные материалы. – 2000. – №5. – С. 12-14.

103. Мешков, П.И. От гарцовки к модифицированным сухим смесям [Текст]: научное издание / П.И. Мешков, В.А. Мокин // Строительные материалы. – 1999. – №3. – С. 34-35

104. Микульский, В.Г. Склеивание бетона [Текст]: научное издание / В.Г. Микульский, В.В. Козлов. – М.: Стройиздат, 1975. – 236 с.

105. Мирский, К.В. Скорость ультразвука как критерий морозостойкости цементного бетона [Текст]: научное издание / К.В. Мирский, А.А. Панчина, В.А.

Мирский и др. // XLVI Огаревские чтения. Материалы научной конференции. – 2018. – С. 184-191.

106. Модификаторы «МетаМикс» в плиточных клеях. ООО «МетаРус» [Текст]: научное издание // Сухие строительные смеси. – 2012 г. – №1. – С. 10-11.

107. Невилль, А.М. Свойства бетона [Текст]: научное издание / А.М. Невилль. – М.: Стройиздат, 1972. – 344 с.

108. Несветаев, Г.В. О морозостойкости бетонов с суперпластификаторами / Г.В. Несветаев, И.В. Корчагин, Ю.Ю. Лопатина и др. // Науковедение (электронный научный журнал). – 2016. – т.8, №5. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/88TVN516.pdf>

109. Несветаев, Г.В. Бетоны: учебное пособие [Текст]: научное издание / Г.В. Несветаев. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 381 с.

110. Несветаев, Г.В. Новая серия добавок в бетон производства НПП «Ирстройпрогресс» [Текст]: научное издание / Г.В. Несветаев, О.К. Базоев // Бетон и железобетон в третьем тысячелетии: Материалы 4-й межд. конф. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2006. – С. 319-326.

111. Несветаев, Г.В. Применение модификаторов с целью управления модулем упругости бетона [Текст]: научное издание / Г.В. Несветаев // Новые научные направления строительного материаловедения: Академические чтения РААСН. – Белгород, 2005. – ч.2. – С. 51-57.

112. Несветаев, Г.В. Некоторые вопросы оценки качества клеев для плитки [Текст]: научное издание / Г.В. Несветаев, М.А. Ужахов // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2007. – №1. – С. 64-65.

113. Несветаев, Г.В. Влияние некоторых гиперпластификаторов на пористость, влажностные деформации и морозостойкость цементного камня [Текст]: научное издание / Г.В. Несветаев, А.Н. Давидюк // Строительные материалы. – 2010. - № 1. – С. 44-46.

114. Несветаев, Г.В. Влияние некоторых гидрофобизирующих добавок на изменение прочности цементного камня / Г.В. Несветаев, А.В. Козлов, И.А. Филонов // Инженерный вестник Дона (электронный научный журнал). – 2013. – № 2(25). Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2013/1709>

115. Несветаев, Г.В. О морозостойкости бетонов с суперпластификаторами / Г.В. Несветаев, И.В. Корчагин, Ю.Ю. Лопатина и др. // Науковедение (электронный научный журнал). – 2016 – т.8, №5. Режим доступа: <http://www.naukovedenie.ru/PDF/88TVN516.pdf>

116. Несветаев, Г.В. Прочность цементного камня с суперпластификаторами и органоминеральными модификаторами с учетом его

собственных деформаций при твердении [Текст]: научное издание / Г.В. Несветаев, Г.С. Кардумян // Бетон и железобетон. – 2013. – №5. – С. 6-8.

117. Несветаев Г.В. Влияние дозировки редиispersируемых порошков на свойства мелкозернистого бетона после многократного замораживания-оттаивания / Г.В. Несветаев, А.В. Долгова // Инженерный вестник Дона (электронный научный журнал). – 2019. – №5. Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5977>

118. Никольский, С.Г. Обоснование экспресс-метода определения морозостойкости пористых материалов [Текст]: научное издание / С.Г. Никольский, О.Н. Перцева, В.И. Иванова // Magazine of Civil Engineering. – 2015. – №8. – С. 7-19.

119. Орехов, С.А. Гидрофобные сухие строительные смеси для отделочных покрытий: Автореф. дис. ... к. т. н. – Казань, 2014. – 20 с.

120. Парута, В.А. Теоретические предпосылки оптимизации рецептурно-технологических параметров штукатурных растворов для стен, выполненных из газобетонных блоков [Текст]: научное издание / В.А. Парута, А.А. Саевский, Ю.А. Семина и др. // Инженерно-строительный журнал. – 2012. – № 8 (34). – С. 30-36.

121. Парута, В.А. Подбор состава штукатурного раствора для газобетона с учетом механики разрушения в системе «кладка-штукатурное покрытие» [Текст]: научное издание / В.А. Парута, Е.В. Брынзин // Технология бетонов. – 2013. – №11. – С. 10-14.

122. Парута, В.А. Теоретические основы проектирования составов штукатурных растворов для автоклавного газобетона с учетом механики разрушения системы «кладка-покрытие» [Текст]: научное издание / В.А. Парута // Сухие строительные смеси. – 2014. – №5. – С. 38-43.

123. Паткина, И.А. Анализ технологических приемов повышения трещиностойкости дорожных одежд [Текст]: научное издание / И.А. Паткина, П.Н. Рогачев // Дороги и мосты. – 2012. – №2(28). – С. 261-277.

124. Пичугин, А.П. Сухие строительные смеси с повышенными эксплуатационными характеристиками [Текст]: научное издание / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, И.В. Белан. – НГАУ-РАЕН – Новосибирск: ИЦ «Золотой колос», 2014. – 160 с.

125. Пичугин, А.П. Разработка составов сухих строительных смесей с повышенными эксплуатационными характеристиками [Текст]: научное издание / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, И.В. Белан и др. // Вестник ВолгГАСУ. – 2014. – №36 (55). – С.68-77.

126. Пухаренко, Ю.В. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей [Текст]: научное издание

/ Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина и др. // Вестник гражданских инженеров. – 2011. – №1(26). – С. 98-103.

127. Савельев, А.А. Инновационное решение в модификации сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / А.А. Савельев // Сухие строительные смеси. – 2012. – №4. – С. 24-25.

128. Семенов, В.С. Эффективная дисперсно-армированная сухая кладочная смесь [Текст]: научное издание / В.С. Семенов, Т.А. Розовская, А.Ю. Губский и др. // Строительные материалы. – 2016. – №7. – С. 39-44.

129. Серова, Р.Ф. Влияние модифицирования на морозо-коррозиестойкость цементных материалов [Текст]: научное издание / Р.Ф. Серова, А.К. Кожас, Б.М. Тоимбаева и др. // Технические науки. Фундаментальные исследования. – 2012. – №9. – С.690-693.

130. Сивков, С.П. Особенности процессов гидратации цементов в сухих строительных смесях [Текст]: научное издание / С.П. Сивков // Строительные материалы. – 2008. – №2. – С. 4-5.

131. Сеницын, Д.А. Стойкость штукатурных покрытий в системах фасадной теплоизоляции: Дис. ... к. т. н. – Уфа, 2006. – 198 с.

132. Солтамбеков, К.Т. Когезионные свойства полимерцементной клеевой композиции [Текст]: научное издание / К.Т. Солтамбеков, В.М. Бондарева, У.К. Махамбетова и др. // Строительные материалы. – 2001 г. – №4. – С. 6-7.

133. СП 28.1330-2012 Защита строительных конструкций от коррозии. – М.: Минрегион России, 2012 г. – 90с.

134. Стеканов, Д.А. Подбор добавки эфиров целлюлозы для плиточных клеев [Текст]: научное издание / Д.А. Стеканов // Технологии и бизнес на рынке сухих строительных смесей. – 2008. – №5. – С. 1-4.

135. Стольников, В.В. О теоретических основах сопротивляемости цементного камня и бетонов чередующимися циклам замораживания и оттаивания [Текст]: научное издание / В.В. Стольников. – Л.: Энергия, 1970. – 68 с.

136. Удодов, С.А. К вопросу о долговечности сцепления цементных растворов с легкобетонным основанием [Текст]: научное издание / С.А. Удодов, О.А. Бычкова // INTERNATIONAL INNOVATION RESEARCH: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции. – 2017. – С. 42-45.

137. Фиголь, А.А. Модифицированные сухие строительные смеси с прогнозируемой трещиностойкостью [Текст]: научное издание / А.А. Фиголь // Известия ПГУПС – 2004. – №.1 – С.38-42.

138. Халиуллин, М.И. Современные клеевые сухие строительные смеси с применением комплекса местных минеральных и химических добавок [Текст]:

научное издание / М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин, Ю.В. Сабанина // Известия КазГАЗУ. – 2008. – №1(9). – С. 131-136.

139. Хигерович, М.И. Гидрофобно-пластифицирующие добавки для цементов, растворов и бетонов [Текст]: научное издание / М.И. Хигерович, В.Е. Байер. – М.: Стройиздат, 1979. – 126 с.

140. Хребтов, Б.М. Высококачественные материалы для сухих строительных смесей [Текст]: научное издание / Б.М. Хребтов, П.А. Кашин // Строительные материалы. – 2000. – №5. – С. 4-5.

141. Хританков, В.Ф. Использование наноразмерных добавок в бетонах и строительных растворах для обеспечения адгезии при ремонтных работах [Текст]: научное издание / В.Ф. Хританков, А.П. Пичугин, О.Е. Смирнова и др. // ISSN 18-13-7911. Интеллектуальные системы в производстве. – 2019. – т.17. – №1. – С. 131-137.

142. Цюрбригер Р. Дисперсионные полимерные порошки – особенности поведения в сухих строительных смесях [Текст]: научное издание / Р. Цюрбригер, П. Дильгер // Строительные материалы. – 1999. – №3. – С. 10-13.

143. Чалый, А.О. Эффективность клеевых и затирочных смесей «Акватрон» [Текст]: научное издание / А.О. Чалый // Технология бетонов. – 2018. – №1-2. – С. 12-13.

144. Черных, Т.Н. Влияние эфиров целлюлозы на свойства растворных смесей и растворов [Текст]: научное издание / Т.Н. Черных, Б.Я. Трофимов, Л.Я. Крамар // Строительные материалы. – 2004 г. – №4. – С. 42-43.

145. Чикичев, А.А. Гидрофобно-фунгицидная добавка и штукатурная смесь на ее основе [Текст]: научное издание / А.А. Чикичев, С.А. Белых, А.И. Кудяков // Вестник МГСУ – 2017. – №6. – С. 661-668.

146. Чикичев, А.А. Штукатурные сухие строительные смеси с повышенными эксплуатационными характеристиками для влажных помещений: автореф. Дис. ... к. т. н. – Томск, 2018. – 24 с.

147. Шаменская, Е.А. Плиточные сухие клеи и системы [Текст]: научное издание / Е.А. Шаменская, Т.Н. Орлова // Строительные материалы. – 1999. – №7-8. – С.14-16.

148. Шевченко, В.А. Исследование возможности применения отходов металлургической промышленности в сухих строительных смесях [Текст]: научное издание / В.А. Шевченко, С.А. Ракшов // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2015. – №2-3. – С.149-154.

149. Шестоперов, С.В. Долговечность бетона транспортных сооружений [Текст]: научное издание / С.В. Шестоперов. – М.: Транспорт, 1966. – 495 с.

150. Шейкин, А.Е. Цементные бетоны высокой морозостойкости [Текст]: научное издание / А.Е. Шейкин, Л.М. Добшиц. – Л.: Стройиздат, 1989. – 128 с.

151. Шкон, Д.А. Сухие строительные смеси для ремонтных работ на композиционных вяжущих: Автореф. дис. ...к. т. н. – Белгород, 2013. – 23 с.

152. Щукина, Т.В. Теплозащитные свойства покрытий на основе сухих строительных смесей нового поколения [Текст]: научное издание / Т.В. Щукина, М.Ю. Копытина, Д.Н. Китаев и др. // Строительные материалы. – 2018. – №4. – С. 71-75.

153. Эккель, С.В. Некоторые предложения по дополнению действующих стандартов на дорожный бетон [Текст]: научное издание / С.В. Эккель // Технологии бетонов. – 2016. – №7-8. – С. 50-59.

154. Эфиры целлюлозы для ССС компании AKZO NOBEL. Cellulosic Specialties. [Электронный ресурс] – Режим доступа: [http //docplayer.ru/40271456-Efiry-cellyulozy-dlya-sss-cellulosic-specialties.html](http://docplayer.ru/40271456-Efiry-cellyulozy-dlya-sss-cellulosic-specialties.html)

155. Юдина, Л.В. Сухие строительные смеси на основе шлакощелочных вяжущих для использования в условиях агрессивной сульфатной среды [Текст]: научное издание / Л.В. Юдина, В.В. Турчин, С.В. Сычугов // Сухие строительные смеси. – 2015. – №5. – С. 22-28.

156. Ярмолинская, Н. И. Повышение морозостойкости бетона водопропускных труб на стадии проектирования состава бетона звеньев водопропускных труб зд 15.35 на промышленно-производственном предприятии «Хабаровск-Автомост» [Текст]: научное издание / Н.И. Ярмолинская, А.А. Парфенов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Международный сборник научных трудов. – Хабаровск, 2017. – С. 270-295.

157. Ярмолинская, Н. И. Оценка прочности и морозостойкости бетона водопропускных труб на региональных и межмуниципальных дорогах Хабаровского края [Текст]: научное издание / Н.И. Ярмолинская, В.А. Ярмолинский, А.А. Парфенов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Международный сборник научных трудов. – Хабаровск, 2016. – С. 70-85.

158. Ярмолинский, В. А. Оценка морозостойкости бетона бортового камня бр 300.30.18, изготовленного на производственной базе ГУП «Сахалинавтодорснаб» [Текст]: научное издание / В.А. Ярмолинский, А.А. Парфенов // Дальний Восток. Автомобильные дороги и безопасность движения. Международный сборник научных трудов. – Хабаровск, 2018. – С. 187-199.

159. Akimov, L. Influence of Plasticizing and Siliceous Additives on the Strength Characteristics of Concrete [Text] / L. Akimov, N. Ilenko, R. Mizharev, A. Cherkashin, N. Vatin, L. Chumadova L. // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vols. 725–726. – Pp. 461–468.

160. Mielenz, R.S. Origin, Evolution and Effects of the Air Voids System in Job Concrete [Text] / R.S. Mielenz., V.E. Wolkodoff., J.E. Backstrom., R.W. Burrows. // Journal ACI. – Oktober 1958. – №10. – Pp. 507-517.

161. Ohama, Y. Handbook of polymer-modified concrete and mortars [Text] / Y. Ohama. – Noyes Publications, Japan, 1995. – p. 227.

162. Powers, T.C. Topics in Concrete Technology. 3. Mixtures, Containing Intentionally Entrained Air. 4. Characteristics of Air Void Systems [Text] / T.C. Powers // Journal of PCA Research and Development Labs. – September 1964. – Pp. 19-42. – January 1965. – Pp. 23-41.

163. Rajgelj, S. Cohesion aspects in rheological behavior of fresh cement mortars [Text] / S. Rajgelj // Mater. et constr. – 1985. – №104. – Pp. 109-114.

УТВЕРЖДАЮ



Директор ООО «Инсула»

М.А. Ужахов

«28» августа 2020 г.

## АКТ

## внедрения

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ФГБОУ ВО «Ростовский государственный университет путей сообщения» (РГУПС) старший преподаватель Долгова А.В. и представители ООО «Инсула», начальник производства Муженский В.А., технолог Чернобровкин Д.В., составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Долговой Анны Владимировны на тему «Морозостойкость, прочность сцепления и морозостойкость контактной зоны растворов из сухих строительных смесей на цементном вяжущем» рассмотрены на техническом совещании ООО «Инсула» и приняты в производство в условиях ООО «Инсула» в части оптимизации производственных составов выпускаемых предприятием штукатурных и клеевых ССС. В результате оптимизации рецептур штукатурных ССС экономический эффект составил 870 руб./т, клеевых ССС – 1780 руб./т.

От ФГБОУ ВО РГУПС:

А.В. Долгова

От ООО «ИНСУЛА»:

Начальник производства

В.А. Муженский

Технолог

Д.В. Чернобровкин

Главный бухгалтер

Л.Ф. Евстратова

Сводные результаты испытаний – Состав 1

Составы	№ серии	Циклы	Балки						Плитки		
			Средняя плотность $\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	Скорость Ультразвука V, м/с	Модуль Упругости E	Прочность При изгибе R <sub>f</sub> , Мпа	Прочность при сжатии, R, Мпа	Относител. Удлинение $\epsilon$ , %	Скор. Ультразвука V, м/с t <sub>k</sub>	Скор. Ультразвука V, м/с t <sub>0</sub>	Адгезия A <sub>сц</sub> , Мпа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 1.1 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – <b>0%</b> Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,741927	3334,568	min 11186,52 max 12763,9	4,2939	15,156	-	3919,007	4089,98	1,05568
	2	0	1,741146	3370,787	min 11425,72 max 13036,83	-	-	-	3961,704	4087,193	0
		15	1,731641	3486,345	min 12155,82 max 13869,88	-	-	-0,00146	4076,087	4204,625	-
		25	1,731901	3522,16	min 12408,72 max 14158,44	-	-	0,000625	4142,216	4363,636	-
		35	1,732422	3491,417	min 12196,72 max 13916,54	-	-	-0,005	4106,776	4299,534	-
		45	1,729297	3470,214	min 12027,29 max 13723,23	-	-	-0,000604	4329,004	4418,262	-
		55	1,730729	3504,673	min 12277,5 max 14008,72	-	-	-0,0075	4142,216	4365,224	-
		65	1,73112	3525,955	min 12429,87 max 14182,57	-	-	-0,005	4055,424	4314,995	-
		75	1,730469	3503,309	min 12266,1 max 13995,71	5,0076	15,8728	-0,00958	4219,409	4360,465	1,24376
										R75/R0=	1,17816
Состав 1.2 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b>	1(≠)	-	1,620182	3161,222	min 9351,037 max 10669,6	3,744	10,516	-	3852,327	4037,685	1,17488
	2	0	1,627865	3120,666	min 9155,849 max 10446,89	-	-	-	3816,794	4014,721	0
		15	1,614323	3238,866	min 9780,528 max 11159,65	-	-	0,009583	3951,268	4037,685	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – 1% Добавка ВВ - 0% Содержание песка -65% Добавка МС - 0%		25	1,613151	3282,575	min10038,99 max11454,56	-	-	-0,005	3996,004	4080,245	-
		35	1,612891	3253,796	min9862,146 max11252,78	-	-	-0,00792	4000	4115,226	-
		45	1,614063	3226,963	min9707,204 max11075,99	-	-	-0,0075	4169,562	4204,625	-
		55	1,613932	3261,46	min9915,06 max11313,16	-	-	-0,00771	4130,809	4206,099	-
		65	1,615495	3317,972	min10271,57 max11719,94	-	-	-0,00104	3988,036	4123,711	-
		75	1,614714	3278,39	min10023,11 max11436,44	4,2705	12,0208	-0,00604	4077,472	4188,482	1,06968
										R75/R0=	0,910459
Состав 1.3 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. 35% Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – 2% Добавка ВВ - 0% Содержание песка -65% Добавка МС - 0%	1(≠)	-	1,632031	3198,578	min9643,358 max11003,14	4,2822	12,7	-	3888,529	4085,802	0,6392
	2	0	1,616146	3163,723	min9342,502 max10659,86	-	-	-	3922,851	4106,776	-
		15	1,60026	3203,702	min9485,948 max10823,53	-	-	0,001875	4045,853	4149,378	-
		25	1,59987	3280,481	min9943,644 max11345,77	-	-	0,0025	4076,087	4232,804	-
		35	1,601432	3220,9	min9595,087 max10948,06	-	-	0,004167	4081,633	4223,865	-
		45	1,59974	3244,412	min9725,394 max11096,75	-	-	0,002083	4206,099	4332,13	-
		55	1,598307	3257,329	min9794,209 max11175,26	-	-	0,0054117	4195,804	4281,127	-
		65	1,599089	3243,243	min9714,431 max11084,24	-	-	0,003333	4085,802	4189,944	-
		75	1,599089	3280,481	min9938,788 max11340,23	4,1535	11,6408	0,006458	4189,944	4354,136	1,138
										R75/R0=	1,78035

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 1.4 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – <b>3%</b> Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(≠)	-	1,590495	3005,761	min8299,023 max9469,245	3,5919	10,8552	-	3825,311	4110,997	0,59184
	2	0	1,580339	2986,808	min8142,367 max9290,499	-	-	-	3779,528	3888,529	-
	15	1,553906	2989,785	min8022,145 max9153,326	-	-	0,002708	3892,313	4020,101	-	
	25	1,550651	3062,266	min8398,266 max9582,396	-	-	0,005	3938,3	4095,563	-	
	35	1,549609	3016,844	min8145,426 max9293,989	-	-	0,008333	3961,704	4095,563	-	
	45	1,547786	3028,264	min8197,554 max9353,468	-	-	0,00725	4058,167	4201,681	-	
	55	1,545833	3044,397	min8274,68 max9441,469	-	-	0,009792	4010,695	4249,292	-	
	65	1,545964	3023,432	min8161,789 max9312,66	-	-	0,007083	3929,273	4081,633	-	
	75	1,545964	3057,065	min8344,388 max9521,007	3,861	10,2648	0,005417	4103,967	4179,728	1,1504	
									R75/R0=	1,954988	
Состав 1.5 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – <b>0%</b> Добавка ВВ - 0%	1(≠)	-	1,632292	3320,727	min10395,61 max11861,46	4,1418	14,4952	-	3865,979	3969,567	1,15744
	2	0	1,653776	3360,717	min10787,64 max12308,77	-	-	-	3952,569	4158,004	-
	15	1,650521	3431,84	min11226,93 max12810	-	-	0,001875	4024,145	4255,319	-	
	25	1,654688	3442,341	min11324,25 max12921,05	-	-	-0,00146	4137,931	4343,105	-	
	35	1,653776	3428,898	min11229,79 max12813,17	-	-	0,002292	4039,044	4255,319	-	
	45	1,654167	3447,285	min11353,23 max12954,12	-	-	0,0025	4067,797	4321,21	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>		65	1,653906	3458,545	min11425,72 max13036,83	-	-	-0,00729	4056,795	4259,851	-
		75	1,65026	3485,333	min11577,82 max13210,37	4,5162	16,3184	-0,00375	4120,879	4325,883	0,4452
										R75/R0=	0,384642
Состав 1.6 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – 1% Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>	1(≠)	-	1,530078	3094,911	min8464,39 max9657,93	3,8727	11,6176	-	3939,593	4116,638	0,97488
	2	0	1,550911	3130,435	min8777,729 max10015,45	-	-	-	3827,751	3969,567	-
		15	1,545703	3217,158	min9239,676 max10542,54	-	-	0,000833	3955,175	4012,036	-
		25	1,548307	3212,851	min9230,48 max10532,04	-	-	-0,00271	4078,858	4206,099	-
		35	1,548438	3211,705	min9224,669 max10525,41	-	-	-0,00083	4018,754	4109,589	-
		45	1,550391	3243,243	min9418,592 max10746,68	-	-	0,00167	4054,054	4115,226	-
		55	1,552214	3229,279	min9348,639 max10666,86	-	-	-0,00833	4123,711	4290,311	-
		65	1,552604	3238,284	min9403,215 max10729,14	-	-	-0,01187	4041,765	4105,371	-
		75	1,552214	3255,267	min9499,715 max10839,24	4,1652	13,1832	-0,01083	4059,54	4152,249	0,89968
											R75/R0=
Состав 1.7 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ –	1(≠)	-	1,531771	2995,756	min7939,488 max9059,013	3,5334	10,6152	-	3795,066	3949,967	0,94112
	2	0	1,523698	2960,526	min7712,986 max8800,573	-	-	-	3934,426	4173,913	-
		15	1,519661	3031,579	min8066,227 max9203,623	-	-	0,004583	4047,218	4265,908	-
		25	1,521094	3039,001							

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – 2% Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>		35	1,521354	3024,702	min8038,616 max9172,118	-	-	0,004167	4048,583	4261,364	-
		45	1,521615	3072,197	min8294,467 max9464,047	-	-	-0,00062	4077,472	4301,075	-
		55	1,522396	3075,083	min8314,329 max9486,709	-	-	-0,00333	4163,775	4327,443	-
		65	1,520313	3083,248	min8347,098 max9524,099	-	-	-0,00646	4051,317	4262,877	-
		75	1,521094	3094,379	min8411,795 max9597,919	3,8025	11,2112	-0,00021	4095,563	4267,425	0,95328
											R75/R0=
Состав 1.8 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – 3% Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>	1(≠)	-	1,555729	2950,82	min7823,573 max8926,754	3,4749	9,8904	-	3899,903	3998,667	0,44288
	2	0	1,530078	2905,804	min7461,599 max8513,739	-	-	-	3872,217	3952,569	-
		15	1,530599	2972,75	min7812,031 max8913,584	-	-	0,005417	3960,396	4012,036	-
		25	1,532813	2981,366	min7868,747 max8978,297	-	-	0,001667	4036,327	4103,967	-
		35	1,532813	2953,24	min7720,98 max8809,694	-	-	0,035625	3959,089	4012,036	-
		45	1,532552	2989,785	min7911,903 max9027,538	-	-	0,003958	4005,34	4051,317	-
		55	1,534245	2984,332	min7891,777 max9004,575	-	-	0,000625	4092,769	4262,877	-
		65	1,534896	2974,961	min7845,619 max8951,908	-	-	-0,00042	3961,704	4036,327	-
		75	1,533594	2987,056	min7902,835 max9017,192	3,744	10,9952	0,003333	3986,711	4043,127	1,17096
											R75/R0=

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 1.9 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – <b>0%</b> Добавка ВВ – Esapon 1214 - <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(≠)	-	1,571484	2924,452	min7762,199 max8856,725	3,3462	8,464	-	3919,007	4080,245	0,66448
	2	0	1,585417	2976,683	min8113,24 max9257,265	-	-	-	3933,137	4069,176	-
		15	1,599349	3053,694	min8613,509 max9228,076	-	-	-0,00354	4006,678	4214,963	-
		25	1,59362	3050,589	min8565,208 max9772,964	-	-	0,001042	3964,321	4106,776	-
		35	1,589714	3077,449	min8695,338 max9921,443	-	-	-0,00062	3989,362	4089,98	-
		45	1,598438	3081,928	min8768,523 max10004,95	-	-	-0,00396	4112,406	4220,893	-
		55	1,592969	3100,508	min8844,206 max10091,3	-	-	-0,00562	4013,378	4145,078	-
		65	1,585286	3111,764	min8865,576 max10115,69	-	-	-0,00458	4017,409	4176,819	-
		75	1,588151	3121,477	min8937,129 max10197,33	3,978	11,248	-0,00292	4034,97	4158,004	0,50792
									R75/R0=	0,764387	
Состав 1.10 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – <b>1%</b> Добавка ВВ – Esapon 1214- <b>0,015%</b>	1(≠)	-	1,54375	3096,242	min8547,369 max9752,61	3,4866	10,0544	-	3906,25	4001,334	0,482
	2	0	1,576172	3166,505	min9127,459 max10414,5	-	-	-	3947,368	4026,846	-
		15	1,57513	3249,097	min9603,461 max10957,62	-	-	-0,00042	4066,418	4129,387	-
		25	1,575391	3228,121	min9481,424 max10818,37	-	-	0,005625	4012,036	4130,809	-
		35	1,57487	3269,161	min9720,824 max11091,53	-	-	0,002917	4043,127	4146,51	-
		45	1,576823	3257,624	min9664,304 max11027,04	-	-	-0,00062	4136,505	4302,617	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		55	1,577474	3277,196	min9784,821 max11164,55	-	-	-0,00521	4076,087	4105,371	-
		65	1,576693	3288,572	min9847,991 max11236,63	-	-	-0,00292	4078,858	4173,913	-
		75	1,578125	3283,773	min9828,187 max11214,03	4,0014	13,0392	-0,00188	4076,087	4191,408	1,08776
										R75/R0=	2,256763
Состав 1.11 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil 06P – <b>2%</b> Добавка ВВ – Esaron 1214- <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(≠)	-	1,540755	3059,924	min8331,834 max9506,683	3,627	9,1408	-	3867,225	4020,101	1,06232
	2	0	1,569922	3120,125	min8826,892 max10071,55	-	-	-	3952,569	4021,448	-
		15	1,561068	3188,38	min9165,323 max10457,7	-	-	-0,00146	4032,258	4204,625	-
		25	1,559505	3143,007	min8897,404 max10152	-	-	-0,00125	3956,479	4091,374	-
		35	1,561328	3125,814	min8810,616 max10052,98	-	-	0,004583	4022,796	4145,078	-
		45	1,561849	3133,432	min8856,567 max10105,41	-	-	0,001667	4096,961	4249,292	-
		55	1,561198	3135,069	min8862,129 max10111,75	-	-	-0,00104	4009,355	4065,041	-
		65	1,560807	3191,772	min9183,303 max10478,21	-	-	0,001667	4026,846	4173,913	-
		75	1,560938	3163,167	min9020,186 max10292,1	3,978	12,2056	0,001667	4033,613	4108,182	1,15672
										R75/R0=	1,088862
Состав 1.12 ЦЕМ I 42,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b>	1(≠)	-	1,551042	3097,041	min8592,175 max9803,733	3,8376	10,8288	-	3943,477	4065,041	0,8688
	2	0	1,54401	3108,808	min8618,346 max9833,595	-	-	-	3953,871	4033,613	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		15	1,072005	3189,227	min6297,29 max7185,254	-	-	0,005	4063,664	4088,586	-
		25	1,540495	3125	min8688,526 max9913,671	-	-	0,004792	3988,036	4012,036	-
		35	1,542188	3135,889	min8758,792 max9993,845	-	-	0,01358	4060,914	4133,655	-
		45	1,542839	3125,814	min8706,279 max9933,927	-	-	0,0125	4145,078	4222,379	-
		55	1,54388	3130,707	min8739,454 max9971,779	-	-	0,007917	4063,664	4080,245	-
		65	1,54349	3163,723	min8922,496 max10180,63	-	-	0,010833	4080,245	4099,761	-
		75	1,543099	3150,158	min8843,907 max10090,96	4,0365	12,0976	0,012292	4063,664	4108,182	1,18744
										R75/R0=	1,366759

Примечание:  $t_k$  – время прохождения звука через пластинку и плиту-подложку.

$t_0$  – время прохождения звука через плиту-подложку.

## Сводные результаты испытаний – Состав 2

Составы	№ серии	Циклы	Балки						Плитки		
			Средняя плотность $\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	Скорость Ультразвука V, м/с	Модуль Упругости E	Прочность При изгибе R <sub>f</sub> , Мпа	Прочность при сжатии, R, Мпа	Относител. Удлинение $\epsilon$ , %	Скор. Ультразвука V, м/с t <sub>k</sub>	Скор. Ультразвука V, м/с t <sub>0</sub>	Адгезия A <sub>сш</sub> , Мпа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 2.1 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – 0% Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,720964	3602,522	min 12899,44 max 14718,35	5,4288	21,1408	-	3915,171	4062,288	1,0328
	2	0	1,720443	3513,223	min 12264,15 max 13993,49	-	-	-	3935,17	4091,374	-
	15	15	1,724609	3559,071	min 12616,82 max 14395,88	-	-	0,000208	4025,495	4088,586	-
	25	25	1,725651	3587,444	min 12826,53 max 14635,16	-	-	0,003958	3951,268	4083,021	-
	35	35	1,726953	3589,232	min 12849,01 max 14660,81	-	-	0,001667	3980,1	4115,226	-
	45	45	1,727734	3600	min 12932,06 max 14755,58	-	-	0,003542	3993,344	4109,589	-
	55	55	1,726823	3608,661	min 12987,51 max 14818,84	-	-	-0,00208	4008,016	4158,004	-
	65	65	1,726172	3593,173	min 12871,41 max 14686,37	-	-	0,001458	3976,143	4113,816	-
	75	75	1,72474	3614,821	min 13016,16 max 14851,53	5,3235	21,5808	0,002292	3959,089	4150,813	1,238
									R75/R0=	1,198683	
Состав 2.2 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – -0%	1(28 сут)	-	1,697135	3458,878	min 11726,62 max 13380,15	4,6449	17,2456	-	4000	4113,816	1,19088
	2	0	1,672135	3361,031	min 10909,43 max 12447,74	-	-	-	4005,34	4087,193	-
	15	15	1,673828	3399,112	min 11169,35 max 12744,3	-	-	0,000625	4043,127	4122,295	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – 1% Добавка ВВ - 0% Содержание песка -65% Добавка МС - 0%		25	1,673568	3459,21	min 11566 max 13196,88	-	-	-0,00375	4012,036	4147,943	-
		35	1,673828	3465,537	min 11610,15 max 13247,26	-	-	0,009375	4034,97	4139,358	-
		45	1,676693	3486,683	min 11772,38 max 13432,37	-	-	0,010417	3989,362	4156,564	-
		55	1,676432	3493,789	min 11818,58 max 13485,08	-	-	0,005833	4059,54	4159,445	-
		65	1,676172	3449,928	min 11521,91 max 13146,58	-	-	0,006042	4094,166	4235,792	-
		75	1,675391	3487,358	min 11767,79 max 13427,14	4,6449	18,4688	0,008542	4010,695	4165,22	1,29544
										R75/R0=	1,087801
Состав 2.3 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. 35% Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – 2% Добавка ВВ - 0% Содержание песка -65% Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,611458	3228,121	min 9698,496 max 11066,05	4,1652	13,3752	-	3913,894	4133,655	1,40544
	2	0	1,560547	3152,364	min 8956,44 max 10219,36	-	-	-	3875,969	4074,703	-
		15	1,554167	3249,097	min 9475,648 max 10811,78	-	-	-0,0025	3933,137	4222,379	-
		25	1,547656	3237,992	min 9371,562 max 10693,02	-	-	0,001875	3942,181	4126,547	-
		35	1,54349	3223,784	min 9264,59 max 10570,85	-	-	0,00375	3964,321	4159,445	-
		45	1,54362	3283,473	min 9611,543 max 10966,84	-	-	-0,00229	3938,3	4051,317	-
		55	1,542188	3292,783	min 9657,157 max 11018,89	-	-	-0,00354	3970,88	4184,1	-
		65	1,541667	3260,574	min 9465,956 max 10800,72	-	-	-0,00208	3972,195	4172,462	-
		75	1,542318	3276,898	min 9565,011 max 10913,75	4,4109	14,0424	-0,00688	3938,3	4163,775	1,29416
										R75/R0=	0,920822

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 2.4 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – <b>3%</b> Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,61237	3209,7	min 9593,553 max 10946,31	4,095	13,2632	-	3789,075	4051,317	1,21616
	2	0	1,573307	3135,069	min 8930,868 max 10190,18	-	-	-	3804,692	4178,273	-
	15	1,549089	3243,828	min 9414,074 max 10741,53	-	-	-0,02479	4110,997	4232,804	-	
	25	1,540495	3224,94	min 9253,142 max 10557,9	-	-	-0,02188	3938,3	4168,114	-	
	35	1,534115	3211,911	min 9140,972 max 10429,91	-	-	-0,01146	3957,784	4175,365	-	
	45	1,532031	3276,6	min 9499,488 max 10838,98	-	-	-0,02333	3959,089	4095,563	-	
	55	1,528906	3312,477	min 9688,854 max 11055,05	-	-	-0,02229	4013,378	4200,21	-	
	65	1,528646	3249,391	min 9321,731 max 10636,16	-	-	-0,01646	4034,97	4213,483	-	
	75	1,527604	3275,705	min 9466,867 max 10801,76	4,095	11,7256	-0,01937	3953,871	4210,526	0,58096	
									R75/R0=	0,4777	
Состав 2.5 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – <b>0%</b> Добавка ВВ - 0%	1(28 сут)	-	1,712109	3553,801	min 12488,3 max 14249,24	5,2416	19,4232	-	4109,589	4147,943	0,79
	2	0	1,684505	3536,346	min 12166,56 max 13882,13	-	-	-	4001,334	4130,809	-
	15	1,685938	3553,45	min 12294,98 max 14028,66	-	-	-0,01417	4062,288	4147,943	-	
	25	1,682552	3570,012	min 12384,93 max 14131,3	-	-	-0,01313	3968,254	4099,761	-	
	35	1,683073	3580,664	min 12462,81 max 14220,16	-	-	-0,01625	4051,317	4200,21	-	
45	1,687109	3594,608	min 12590,19 max 14365,49	-	-	-0,01146	4004,004	4119,464	-		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>		55			min 12660,09 max 14445,25	-	-	-0,01396	4052,685	4246,285	-
		65	1,685417	3570,72	min 12410,94 max 14160,97	-	-	-0,00937	4047,218	4203,152	-
		75	1,685677	3572,137	min 12422,71 max 14174,41	5,0427	21,608	-0,00667	4006,678	4207,574	1,28744
										R75/R0=	1,629671
Состав 2.6 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11Р – 1% Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>	1(28 сут)	-	1,629427	3411,352	min 10951,51 max 12495,75	4,3641	13,3248	-	3930,56	4040,404	0,6852
	2	0	1,591667	3297,307	min 9994,401 max 11403,68	0	0	-	3990,688	4078,858	0
		15	1,584896	3303,055	min 9986,614 max 11394,8	-	-	-0,00313	4034,97	4163,775	-
		25	1,581771	3347,592	min 10237,51 max 11681,07	-	-	0,001458	3998,667	4088,586	-
		35	1,584115	3356,33	min 10306,28 max 11759,54	-	-	0,002292	4047,218	4152,249	-
		45	1,588021	3362,915	min 10372,27 max 11834,83	-	-	0,005417	4055,424	4198,74	-
		55	1,586849	3371,734	min 10419,05 max 11888,21	-	-	-0,0025	4081,633	4222,379	-
		65	1,58763	3330,558	min 10171,13 max 11605,33	-	-	-0,00208	4044,489	4163,775	-
		75	1,588021	3359,462	min 10350,98 max 11810,55	4,6917	16,3008	-0,00042	4051,317	4155,125	0,99424
										R75/R0=	1,451022
Состав 2.7 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ –	1(28 сут)	-	1,597786	3228,7	min 9616,662 max 10976,1	4,1769	13,5496	-	3943,477	4060,914	0,96688
	2	0	1,545833	3145,478	min 8833,278 max 10078,83	0	0	-	3961,704	4136,505	0
		15	1,532422	3220,148	min 9234,407	-	-	-0,00271	4032,258	4175,365	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – 2% Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>		25	1,527083	3216,583	min 9125,111 max 10411,82	-	-	0,000208	3972,195	4143,646	-
		35	1,526432	3187,533	min 8957,211 max 10220	-	-	0,003542	4010,695	4159,445	-
		45	1,527474	3267,084	min 9416,3 max 10744,07	-	-	0,000625	3989,362	4216,444	-
		55	1,526693	3283,773	min 9507,879 max 10848,56	-	-	0,0025	4033,613	4155,125	-
		65	1,527474	3239,158	min 9256,011 max 10561,18	-	-	0,006458	4041,765	4203,152	-
		75	1,527734	3256,151	min 9354,975 max 10674,09	4,6098	12,24	0,006875	3986,711	4163,775	1,25944
										R75/R0=	1,302581
Состав 2.8 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – 3% Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>	1(28 сут)	-	1,575	3130,435	min 8914,063 max 10171,01	4,0248	10,7752	-	3865,979	4033,613	1,37312
	2	0	1,573698	3104,787	min 8761,343 max 9996,756	0	0	-	3931,848	4094,166	0
		15	1,560156	3188,945	min 9163,217 max 10455,3	-	-	-0,0025	4013,378	4126,547	-
		25	1,553385	3166,505	min 8995,504 max 10263,94	-	-	0,0025	3977,461	4026,846	-
		35	1,5537776	3155,404	min 8934,785 max 10194,65	-	-	0,003958	4017,409	4112,406	-
		45	1,552083	3218,021	min 9282,791 max 10591,73	-	-	0,000833	4016,064	4126,547	-
		55	1,550781	3240,324	min 9404,014 max 10730,05	-	-	0,005208	4026,846	4125,129	-
		65	1,55013	3198,294	min 9157,793 max 10449,11	-	-	0,006042	4021,448	4094,166	-
		75	1,550521	3229,568	min 9340,12 max 10657,14	4,0131	9,2216	0,004792	3974,826	4078,856	1,09552
											R75/R0=

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 2.9 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – <b>0%</b> Добавка ВВ- Esaron 1214 - <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,654557	3324,1	min 10558,83 max 12047,7	4,1184	15,8016	-	4070,556	4135,079	0,20424
	2	0	1,641797	3264,418	min 10104,54 max 11529,36	0	0	-	4013,378	4106,776	0
	15		1,634505	3265,306	min 10065,14 max 11484,4	-	-	-0,01063	4070,556	4171,011	-
	25		1,633594	3278,689	min 10142,15 max 11572,27	-	-	-0,01667	4179,728	4366,812	-
	35		1,633854	3291,278	min 10221,82 max 11663,17	-	-	-0,01042	4094,166	4206,099	-
	45		1,635026	3319,196	min 10403,42 max 11870,38	-	-	-0,01333	4059,54	4176,819	-
	55		1,633984	3296,401	min 10254,49 max 11700,44	-	-	-0,01688	4083,021	4279,601	-
	65		1,633333	3302,146	min 10286,16 max 11736,58	-	-	-0,01125	4073,32	4234,298	-
	75		1,631901	3269,458	min 10074,68 max 11495,28	4,2705	16,2792	-0,01354	4095,563	4276,55	1,13192
										R75/R0=	5,542107
Состав 2.10 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11P – <b>1%</b>	1(28 сут)	-	1,592448	3142,458	min 9082,179 max 10362,83	4,0833	12,5968	-	3964,321	4210,526	1,22608
	2	0	1,572526	3112,571	min 8798,777 max 10039,47	0	0	-	3963,012	4119,464	0
	15		1,563281	3130,163	min 8846,2 max 10093,58	-	-	0,003542	4005,34	4133,655	-
	25		1,555729	3145,478	min 8889,825 max 10143,35	-	-	0,000208	4078,858	4181,185	-
	35		1,548568	3159,835	min 8929,864 max 10189,04	-	-	0,003125	4033,613	4145,078	-
	45		1,546615	3188,945	min 9083,683 max 10364,55	-	-	0,002708	4036,327	4137,931	-
55		1,542448	3188,38	min 9056,002	-	-	0,002083	4020,101	4165,22	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Добавка ВВ – Esaron 1214- <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%		65	1,540234	3228,7	min 9273,163 max 10580,75	-	-	0,004792	3988,036	4129,387	-
		75	1,538802	3208,27	min 9147,67 max 10437,56	3,6621	13,6528	0,001458	4048,583	4198,74	1,09264
										R75/R0=	0,891165
Состав 2.11 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinavil SL 11Р – <b>2%</b> Добавка ВВ – Esaron 1214- <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,638672	3227,542	min 9858,743 max 11248,9	4,2822	14,6344	-	4081,633	4253,811	1,21872
	2	0	1,595573	3178,808	min 9311,745 max 10624,77	0	0	-	4016,064	4118,051	0
		15	1,590885	3182,461	min 9305,741 max 10617,92	-	-	0,007292	4021,448	4122,295	-
		25	1,587109	3220,612	min 9507,569 max 10848,2	-	-	0,009167	4099,761	4327,443	-
		35	1,590755	3215,721	min 9500,49 max 10840,13	-	-	0,005417	4049,949	4189,944	-
		45	1,592969	3236,537	min 9637,274 max 10996,2	-	-	0,003125	4021,448	4105,371	-
		55	1,589453	3260,87	min 9761,137 max 11137,53	-	-	0,004375	4025,495	4201,681	-
		65	1,589323	3257,329	min 9739,154 max 11112,44	-	-	0,004792	4018,754	4191,408	-
		75	1,589844	3267,084	min 9800,786 max 11182,77	4,3056	12,5	0,005208	4065,041	4225,352	1,116
									R75/R0=	0,915715	
Состав 2.12 ЦЕМ I 52,5 Н Содерж. цем. <b>35%</b>	1(28 сут)	-	1,611589	3255,856	min 9866,665 max 11257,94	4,0599	12,8896	-	3953,871	4041,765	1,3128
	2	0	1,56875	3249,977	min 9569,743 max 10919,15	0	0	-	3965,631	4112,406	0
		15	1,565104	3252,033	min 9559,581 max 10907,55	-	-	0,008333	4006,678	4195,804	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		25	1,565365	3290,075	min 9786,174 max 11166,09	-	-	0,00875	3996,004	4250,797	-
		35	1,565495	3283,473	min 9747,75 max 11122,25	-	-	-0,20292	3988,036	4207,574	-
		45	1,566406	3302,449	min 9866,487 max 11257,73	-	-	0,004167	3997,335	4182,642	-
		55	1,565755	3307,607	min 9893,219 max 11288,23	-	-	0,005208	4025,495	4219,409	-
		65	1,566276	3312,172	min 9923,845 max 11323,18	-	-	0,005833	4047,218	4216,444	-
		75	1,566276	3320,421	min 9973,333 max 11379,64	4,3641	11,1384	0,006042	4096,961	4316,547	1,40496
										R75/R0=	1,070201

## Сводные результаты испытаний – Состав 3

Составы	№ серии	Циклы	Балки						Плитки		
			Средняя плотность $\rho_0$ , г/см <sup>3</sup>	Скорость Ультразвука V, м/с	Модуль Упругости E	Прочность При изгибе R <sub>f</sub> , Мпа	Прочность при сжатии, R, Мпа	Относител. Удлинение $\epsilon$ , %	Скор. Ультразвука V, м/с t <sub>k</sub>	Скор. Ультразвука V, м/с t <sub>0</sub>	Адгезия A <sub>сп</sub> , Мпа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 3.1 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>0%</b> Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,71276	3299,725	min 10770,55 max 12289,28	4,1184	14,1496	-	3981,42	4129,387	0,87232
	2	0	1,749609	3373,946	min 11502,79 max 13124,76	0	0	-	3956,479	4096,961	0
	15		1,751563	3367,003	min 11468,29 max 13085,4	-	-	0,010208	3990,688	4116,638	-
	25		1,755208	3399,754	min 11716,82 max 13368,97	-	-	0,007917	4008,016	4166,667	-
	35		1,754948	3391,747	min 11659,96 max 13304,09	-	-	0,006875	4105,371	4238,785	-
	45		1,754036	3409,091	min 11773,39 max 13433,53	-	-	0,002917	4025,495	4146,51	-
	55		1,749219	3427,592	min 11868,84 max 13542,43	-	-	0,005833	4030,904	4192,872	-
	65		1,749479	3424,983	min 11852,54 max 13523,84	-	-	0,005208	4069,176	4238,785	-
	75		1,747396	3428,898	min 11865,51 max 13538,63	4,3524	16,1256	0,0075	4070,556	4181,185	0,97832
										R75/R0=	1,121515
Состав 3.2 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ –	1(28 сут)	-	1,69362	3255,267	min 10365,14 max 11826,7	4,0599	13,2688	-	3952,569	4125,129	1,02568
	2	0	1,643359	3184,713	min 9626,293 max 10983,67	0	0	-	4026,846	4153,686	-
	15		1,645703	3208,27	min 9783,161 max 11162,66	-	-	0,008958	4051,317	4065,041	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – 1% Добавка ВВ - 0% Содержание песка -65% Добавка МС - 0%		25	1,640495	3249,684	min 10005,6 max 11416,46	-	-	0,006042	4070,556	4139,358	-
		35	1,643229	3248,804	min 10016,85 max 11429,29	-	-	0,005208	4184,1	4273,504	-
		45	1,644141	3277,793	min 10202,06 max 11640,62	-	-	-0,00104	4089,98	4163,775	-
		55	1,640234	3284,672	min 10220,58 max 11661,76	-	-	0,001458	4108,182	4195,804	-
		65	1,644271	3286,471	min 10256,96 max 11703,27	-	-	0,000625	4112,406	4231,312	-
		75	1,644141	3296,1	min 10316,34 max 11771,01	4,1067	13,6824	0,002708	4073,32	4146,51	1,30744
										R75/R0=	1,274706
Состав 3.3 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. 35% Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – 2% Добавка ВВ - 0% Содержание песка -65% Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,671224	3126,085	min 9432,399 max 10762,44	4,095	13,1216	-	3981,42	4127,967	1,11936
	2	0	1,619401	3111,226	min 9053,228 max 10329,8	0	0	-	3865,979	4037,685	-
		15	1,613151	3092,518	min 8910,156 max 10166,55	-	-	0,0025	3926,702	4006,678	-
		25	1,613802	3137,255	min 9173,514 max 10467,05	-	-	0,007708	4000	3992,016	-
		35	1,613932	3133,978	min 9155,096 max 10446,03	-	-	0,005	4049,949	4123,711	-
		45	1,614974	3150,158	min 9255,841 max 10560,98	-	-	0,00125	4024,145	4045,853	-
		55	1,613411	3199,716	min 9540,117 max 10885,34	-	-	0,004792	4028,197	4047,218	-
		65	1,614453	3188,098	min 9477,08 max 10813,42	-	-	0,002292	4029,55	4126,547	-
		75	1,615495	3148,78	min 9250,73 max 10555,15	4,0014	12,0144	0,00125	3994,674	4109,589	0,95616
										R75/R0=	0,854202

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 3.4 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>3%</b> Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - 0%	1(28 сут)	-	1,661068	3037,462	min 8851,052 max 10099,11	3,9663	11,5528	-	3910,068	4092,769	1,16032
	2	0	1,631641	3085,626	min 8972,159 max 10237,3	0	0	-	3913,894	4135,079	0
	15		1,623958	3050,072	min 8725,311 max 9955,642	-	-	0,004167	3913,894	4106,776	-
	25		1,623568	3089,333	min 8949,231 max 10211,14	-	-	0,004375	3968,254	4146,51	-
	35		1,623438	3095,177	min 8982,398 max 10248,98	-	-	0,005	4078,858	4216,444	-
	45		1,623307	3105,054	min 9039,096 max 10313,67	-	-	-0,00021	3998,667	4160,888	-
	55		1,621615	3150,985	min 9298,782 max 10609,98	-	-	0,0025	4000	4127,967	-
	65		1,622396	3148,78	min 9290,247 max 10600,24	-	-	0,001458	4016,064	4175,365	-
	75		1,624349	3119,584	min 9129,743 max 10417,1	4,2588	11,46	1,11E-15	3984,064	4181,185	1,12192
									R75/R0=	0,966906	
Состав 3.5 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>0%</b>	1(28 сут)	-	1,683464	3267,084	min 10377,92 max 11841,28	3,9078	15,5928	-	4039,044	4219,409	0,91728
	2	0	1,689844	3245,582	min 10280,58 max 11730,22	0	0	-	4029,55	4118,051	-
	15		1,684505	3271,24	min 10410,78 max 11878,77	-	-	0,004792	3913,894	4037,685	-
	25		1,685807	3290,376	min 10541,07 max 12027,44	-	-	0,035417	3960,396	4108,182	-
	35		1,686198	3306,696	min 10648,37 max 12149,86	-	-	0,013958	3924,133	4080,245	-
	45		1,683333	3315,833	min 10689,1 max 12196,34	-	-	0,002708	3985,387	4132,231	-
	55		1,679297	3274,216	min 10397,47	-	-	0,002708	3935,717	4084,411	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		65	1,680859	3316,75	min 10679,29 max 12185,15	-	-	0,003333	3960,396	4037,685	-
		75	1,680078	3269,458	min 10372,1 max 11834,64	4,1769	14,9976	0,001667	3841,229	3969,567	1,13176
										R75/R0=	1,233822
Состав 3.6 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>1%</b> Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>	1(28 сут)	-	1,611458	3140,265	min 9177,778 max 10471,91	4,0131	12,3288	-	4089,98	4253,811	0,9856
	2	0	1,621875	3144,105	min 9259,707 max 10565,39	0	0	-	4010,695	4285,714	0
	15	1,611979	3177,405	min 9399,19 max 10724,54	-	-	0,005	3977,461	4135,079	-	
	25	1,614323	3213,138	min 9625,76 max 10983,06	-	-	0,000625	4049,949	4220,893	-	
	35	1,617969	3232,759	min 9765,681 max 11142,71	-	-	0,012917	4049,949	4145,078	-	
	45	1,617839	3230,728	min 9752,63 max 11127,82	-	-	-0,00167	4059,54	4216,444	-	
	55	1,616797	3189,793	min 9500,932 max 10840,63	-	-	-0,00125	4025,495	4145,078	-	
	65	1,617448	3235,083	min 9776,579 max 11155,15	-	-	-0,00042	3994,674	4255,319	-	
	75	1,616927	3189,793	min 9501,697 max 10841,5	4,1652	13,256	-0,00292	3880,983	4004,004	0,95736	
										R75/R0=	0,971347
Состав 3.7 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>36,2%</b>	1(28 сут)	-	1,598698	3031,324	min 8484,316 max 9680,666	3,7791	10,4712	-	4055,424	4210,526	0,88504
	2	0	1,525651	2946,231	min 7648,473 max 8726,962	0	0	-	4062,288	4222,379	0
	15	1,51849	2973,241	min 7752,786 max 8845,985	-	-	0,010417	3981,42	4060,914	-	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		25	1,517448	3009,782	min 7939,07 max 9058,536	-	-	0,006667	4077,472	4173,913	-
		35	1,521354	3031,324	min 8073,852 max 9212,323	-	-	0,019583	4060,914	4126,547	-
		45	1,522266	3037,206	min 8110,072 max 9253,65	-	-	0,005208	4078,858	4201,681	-
		55	1,521354	3011,292	min 7967,499 max 9090,973	-	-	0,007083	4043,127	4149,378	-
		65	1,523047	3040,797	min 8133,436 max 9280,309	-	-	0,005417	4051,317	4210,526	-
		75	1,522526	3011,796	min 7976,304 max 9101,021	3,6621	10,736	0,002917	3883,495	4043,127	1,01936
											R75/R0=
Состав 3.8 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>36,2%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>3%</b> Добавка ВВ - 0% Содержание песка - <b>62,5%</b> Добавка МС - <b>1,31%</b>	1(28 сут)	-	1,569141	2942,859	min 7848,501 max 8955,197	3,8025	9,6504	-	4123,711	4240,283	0,95728
	2	0	1,488021	2825,968	min 6863,24 max 7831,006	0	0	-	4044,489	4226,84	0
		15	1,47474	2846,75	min 6902,395 max 7875,682	-	-	0,009583	3980,1	4042,145	-
		25	1,472266	2888,087	min 7092,387 max 8092,465	-	-	0,01	4041,765	4091,374	-
		35	1,475911	2905,569	min 7196,288 max 8211,016	-	-	0,0225	4041,765	4083,021	-
		45	1,475651	2920,419	min 7268,75 max 8293,696	-	-	0,010208	4073,32	4139,358	-
		55	1,475911	2880	min 7070,19 max 8067,138	-	-	0,007708	4034,97	4165,22	-
		65	1,476693	2926,829	min 7305,85 max 8336,027	-	-	0,009167	4062,288	4115,226	-
		75	1,477865	2894,356	min 7150,302 max 8158,546	3,4164	9,0272	0,007083	3894,839	3976,143	0,94536
									R75/R0=	0,987548	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Состав 3.9 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>0%</b> Добавка ВВ – Esapon 1214- <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - <b>0%</b>	1(28 сут)	-	1,732161	3267,084	min 10678,12 max 12183,81	4,1067	14,2784	-	3953,871	4102,564	0,58464
	2	0	1,714063	3220,9	min 10269,92 max 11718,05	0	0	-	3948,667	4130,809	0
	15		1,708073	3195,739	min 10074,76 max 11495,38	-	-	-0,00188	4039,044	4149,378	-
	25		1,708333	3231,598	min 10303,7 max 11756,59	-	-	-0,00146	4001,334	4182,642	-
	35		1,710156	3299,423	min 10752,2 max 12268,34	-	-	0,004375	3980,1	4070,556	-
	45		1,710156	3254,384	min 10460,67 max 11935,69	-	-	0,001042	4026,846	4130,809	-
	55		1,709766	3278,091	min 10611,2 max 12107,46	-	-	-0,00229	3977,461	4070,556	-
	65		1,711328	3298,818	min 10755,63 max 12272,25	-	-	-1,1E-15	3970,88	4135,079	-
	75		1,711068	3226,385	min 10286,92 max 11737,45	4,1652	14,3656	-0,00083	3883,495	4022,796	1,25656
										R75/R0=	2,149288
Состав 3.10 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>1%</b> Добавка ВВ –	1(28 сут)	-	1,672917	3267,974	min 10318,52 max 11773,5	4,3758	13,7456	-	4028,197	4176,819	0,88776
	2	0	1,620833	3141,361	min 9237,617 max 10540,19	0	0	-	3990,688	4163,775	0
	15		1,626042	3142,732	min 9275,393 max 10583,29	-	-	-0,00313	4133,655	4299,534	-
	25		1,625521	3150,985	min 9321,181 max 10635,53	-	-	-0,00396	3981,42	4198,74	-
	35		1,627995	3226,096	min 9785,731 max 11165,59	-	-	0,00125	3977,461	4169,562	-
	45		1,628776	3205,699	min 9667,022 max 11030,14	-	-	-0,00229	4041,765	4214,963	-
	55		1,630208	3200,284	min 9642,865	-	-	-0,00333	3948,667	4137,931	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Esapon 1214- <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - <b>0%</b>		65	1,631641	3244,412	min 9919,332 max 11318,03	-	-	-0,00208	3965,631	4140,787	-
		75	1,630729	3161,778	min 9415,216 max 10742,83	3,6738	12,088	-0,02458	3847,387	4021,448	1,13024
										R75/R0=	1,273137
Состав 3.11 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>35%</b> Добавка ВУ – Rutocell 75 RT 50000 - 0,25% Добавка РП – Vinnapas 4042Н – <b>2%</b> Добавка ВВ – Esapon 1214- <b>0,015%</b> Содержание песка - <b>65%</b> Добавка МС - <b>0%</b>	1(28 сут)	-	1,64349	3232,759	min 9919,718 max 11318,47	3,9429	12,4152	-	4041,765	4132,231	1,29768
	2	0	1,649479	3045,428	min 8835,461 max 10081,32	0	0	-	3884,752	4054,054	-
		15	1,655078	3089,068	min 9121,354 max 10407,53	-	-	0,012292	4000	4103,967	-
		25	1,65638	3112,033	min 9264,763 max 10571,16	-	-	0,010208	4059,54	4133,655	-
		35	1,656641	3139,991	min 9433,46 max 10763,65	-	-	0,005833	3982,741	4156,564	-
		45	1,657813	3174,323	min 9647,694 max 11008,09	-	-	0,010417	4006,678	4182,642	-
		55	1,657682	3176,284	min 9658,856 max 11020,82	-	-	0,00875	3902,439	4024,145	-
		65	1,65599	3192,055	min 9745,054 max 11119,18	-	-	0,010625	3985,387	4129,387	-
		75	1,655599	3131,524	min 9376,753 max 10698,94	3,9897	12,0096	0,008333	3844,921	4054,054	1,07216
										R75/R0=	0,826213
Состав 3.12 ЦЕМ I 42,5 Н СС Содерж. цем. <b>35%</b>	1(28 сут)	-	1,623438	3075,083	min 8866,152 max 10116,34	3,9195	11,348	-	3944,773	4226,84	1,21992
	2	0	1,615625	2997,502	min 8383,886 max 9566,075	0	0	-	3893,576	4106,776	0
		15	1,61224	3037,206	min 8589,42 max 9800,59	-	-	0,011875	4089,98	4181,185	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		25	1,61276	3047,232	min 8649,017 max 9868,591	-	-	0,0125	3996,004	4178,273	-
		35	1,613672	3067,577	min 8781,286 max 10019,51	-	-	0,007083	4037,685	4145,078	-
		45	1,614323	3097,307	min 8944,267 max 10205,47	-	-	0,011458	4118,051	4213,483	-
		55	1,614974	3103,181	min 8981,844 max 10248,35	-	-	0,009792	4012,036	4076,087	-
		65	1,613672	3106,93	min 8996,302 max 10264,85	-	-	0,008333	4047,218	4140,787	-
		75	1,615234	3043,883	min 8643,252 max 9862,013	3,8259	11,9528	0,007083	3919,007	3942,181	0,99888
										R75/R0=	0,818808

Сводные результаты испытаний составов (гидрофизические свойства)

Составы	Циклы	Водопоглощение 96 ч, W96,%	Водопоглощение (кипячение) Wtotal,%	$\Delta W$	$\Delta W/W96$
1	2	3	4	5	6
Состав 1.1	0	19,96018	34,69388	14,7337	8,201718
	75	3,643525	8,714919	5,071393	15,46547
Состав 1.2	0	17,48008	37,7988	20,31873	12,91548
	75	2,501226	5,590976	3,08975	13,72549
Состав 1.3	0	17,42827	39,63868	22,21041	14,15989
	75	2,178649	6,535948	4,357298	22,22222
Состав 1.4	0	18,28753	41,64905	23,36152	14,19396
	75	3,104925	23,8758	20,77088	74,3295
Состав 1.5	0	20,02075	37,86307	17,84232	9,90213
	75	4,526749	17,48971	12,96296	31,81818
Состав 1.6	0	19,2429	45,32072	26,07781	15,05768
	75	3,266596	22,12856	18,86196	64,15771
Состав 1.7	0	18,88772	42,28751	23,39979	13,76543
	75	2,731092	8,823529	6,092437	24,78632
Состав 1.8	0	14,31889	41,79567	27,47678	21,32132
	75	40,60734	45,26836	4,661017	1,275362
Состав 1.9	0	22,29299	50,21231	27,91932	13,91534
	75	8,376963	49,10995	40,73298	54,02778
Состав 1.10	0	18,02083	45,10417	27,08333	16,69878
	75	4,096639	39,18067	35,08403	95,1567
Состав 1.11	0	19,38559	46,92797	27,54237	15,78628
	75	4,888417	47,7152	42,82678	97,343
Состав 1.12	0	15,37646	41,6755	26,29905	19,00383
	75	3,430353	12,47401	9,043659	29,29293
Состав 2.1	0	18,24885	29,58525	11,33641	6,902357
	75	2,473118	4,086022	1,612903	7,246377
Состав 2.2	0	17,00288	31,70029	14,69741	9,60452
	75	3,193833	9,801762	6,60793	22,98851
Состав 2.3	0	14,78521	31,56843	16,78322	12,61261
	75	2,851524	7,767945	4,916421	19,15709
Состав 2.4	0	19,47791	46,48594	27,00803	15,40664
	75	5,870445	18,31984	12,44939	23,56322
Состав 2.5	0	18,14596	28,59961	10,45365	6,400966
	75	1,980198	5,148515	3,168317	17,77778
Состав 2.6	0	15,17857	44,24603	29,06746	21,27814
	75	3,045187	9,233792	6,188605	22,58065
Состав 2.7	0	16,13546	35,15936	19,0239	13,10014
	75	3,296703	7,892108	4,595405	15,48822
Состав 2.8	0	19,66403	44,96047	25,29644	14,29369
	75	5,074627	15,42289	10,34826	22,65795
Состав 2.9	0	16,33858	47,44094	31,10236	21,15127
	75	4,027505	7,662083	3,634578	10,0271

1	2	3	4	5	6
Состав 2.10	0	19,28072	49,75025	30,46953	17,55901
	75	8,108108	29,42943	21,32132	29,21811
Состав 2.11	0	15,00994	38,07157	23,06163	17,07138
	75	3,521127	8,853119	5,331992	16,8254
Состав 2.12	0	16,06426	33,13253	17,06827	11,80556
	75	6,126482	20,94862	14,82213	26,88172
Состав 3.1	0	21,60555	39,84143	18,23588	9,378186
	75	3,996004	12,98701	8,991009	25
Состав 3.2	0	14,2132	44,56853	30,35533	23,73016
	75	5,719921	12,52465	6,804734	13,21839
Состав 3.3	0	9,861933	44,97041	35,10848	39,55556
	75	3,811434	11,73521	7,923771	23,09942
Состав 3.4	0	8,5	44,4	35,9	46,9281
	75	3,174603	17,85714	14,68254	51,38889
Состав 3.5	0	21,30178	33,23471	11,93294	6,22428
	75	5,215647	9,327984	4,112337	8,760684
Состав 3.6	0	12,65823	46,05648	33,39825	29,31624
	75	3,096903	25,17483	22,07792	79,21147
Состав 3.7	0	9,782609	48,02372	38,24111	43,43434
	75	3,078451	9,831182	6,752731	24,37276
Состав 3.8	0	8,811881	48,21782	39,40594	49,68789
	75	4,124748	9,45674	5,331992	14,36314
Состав 3.9	0	21,03689	44,2672	23,23031	12,26962
	75	7,41483	18,93788	11,52305	17,26727
Состав 3.10	0	13,96264	44,54277	30,58014	24,3349
	75	4,846686	19,68348	14,8368	34,01361
Состав 3.11	0	10,97561	45,63008	34,65447	35,0823
	75	3,87674	11,33201	7,455268	21,36752
Состав 3.12	0	9,50495	44,55446	35,0495	40,97222
	75	3,193613	13,27345	10,07984	35,06944