

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»**

На правах рукописи



Панченко Дмитрий Алексеевич

**СУХАЯ ШТУКАТУРНАЯ СМЕСЬ НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНОЙ
ИЗВЕСТИ С УЛУЧШЕННЫМИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

2.1.5. Строительные материалы и изделия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук



Научный руководитель:
Член-корреспондент РААСН,
доктор технических наук,
профессор,
Румянцева Варвара Евгеньевна

Иваново – 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ.....	14
1.1. Исторические предпосылки применения известковых штукатурных растворов.....	14
1.2. Современные тенденции производства штукатурных растворов.....	24
1.3. Известково-песчаные смеси заводов по производству силикатного кирпича для штукатурных растворов.....	34
1.4. Регулирование свойств штукатурных растворов на основе известки.....	38
1.5. Микробиологическая стойкость штукатурных покрытий..	43
1.6. Выводы по главе 1.....	48
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	50
2.1. Сырьевые материалы, применяемые в работе, и их характеристика.....	50
2.2. Методы исследования.....	55
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СОСТАВА СУХОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНОЙ ИЗВЕСТИ.....	68
3.1. Влияние способа гашения воздушной известки на дисперсность $\text{Ca}(\text{OH})_2$	68
3.2. Процессы твердения и структурообразования в штукатурном растворе на основе воздушной известки.....	72

3.3. Целесообразность применения известково-песчаной смеси завода по производству силикатного кирпича для производства сухой штукатурной смеси.....	83
3.4. Влияние модифицирующих добавок на свойства штукатурного раствора на основе известково-песчаной смеси.....	87
3.5. Оптимизация состава сухой штукатурной смеси на основе известково-песчаной смеси.....	95
3.6. Выводы по главе 3.....	109
ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ГРИБОСТОЙКОСТИ ИЗВЕСТКОВОГО ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА.....	112
4.1. Влияние добавок на грибостойкость штукатурного раствора на основе воздушной извести.....	112
4.2. Оценка грибостойкости известкового штукатурного раствора в сравнении с гипсовой штукатуркой.....	119
4.3. Выводы по главе 4.....	121
ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХОЙ ИЗВЕСТКОВОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ И ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ..	122
5.1. Промышленный эксперимент по производству сухой штукатурной смеси.....	123
5.2. Оценка себестоимости сухой штукатурной смеси.....	126
5.3. Выводы по главе 5.....	131
Заключение.....	132
Список сокращений и условных обозначений.....	134
Список литературы.....	135
Приложение 1.....	167
Приложение 2.....	169

Приложение 3.....	170
Приложение 4.....	171
Приложение 5.....	172
Приложение 6.....	173
Приложение 7.....	174

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. С повышением уровня жизни населения, все больше внимания со стороны потребителей уделяется вопросам экологической безопасности и безвредности применяемых материалов. Материалы для внутренней отделки помещений оказывают наибольшее влияние на здоровье человека, не только за счет того, что находятся с ним в непосредственном контакте, но и вследствие того, что участвуют в формировании микроклимата в помещении.

Настоящей «чумой» XXI века стала аллергия. Аллергические реакции вызывают всевозможные болезнетворные микроорганизмы и особенно плесневые грибы. Следы жизнедеятельности грибов мы чаще всего наблюдаем на оконных откосах, в углах и примыканиях стен к плитам перекрытия, т.е. тех участках конструкций, где температура поверхности ниже, и существует вероятность конденсации влаги. Также уязвимыми являются места, в которых отсутствует движение воздуха, например, за предметами мебели. Это связано с тем, что на этих участках, как правило, температура поверхности стены ниже температуры конденсации влаги. Влага, конденсируясь на поверхности, создает благоприятные условия для развития осевших на них спор грибов. Если аллергические реакции человека не связаны с наличием болезнетворных микроорганизмов и грибов, а обусловлены пылью, насекомыми или пищевыми аллергенами, то все равно они усиливаются при не оптимальной влажности воздуха в помещении, так как она влияет на состояние слизистых оболочек и кожного покрова.

Штукатурные покрытия на основе извести обладают оптимальной паропроницаемостью, а, следовательно, регулируют микроклимат в помещении. Применение известковых штукатурных смесей, которые имеют коэффициент теплопроводности ниже, чем у цементных, приводит к повышению температуры на поверхности стены и тем самым снижает риск

образования конденсата. Кроме того, в случае, если конденсация влаги все-таки произойдет, за счет своей капиллярно-пористой структуры известковые штукатурки легко впитывают лишнюю влагу и отдают ее обратно при снижении влажности воздуха. Высокая паропроницаемость известкового штукатурного покрытия способствует регулированию влажности воздуха в помещении.

Второй аспект заключается в том, что щелочная среда является менее благоприятной для жизнедеятельности микроорганизмов и грибов. То есть высокая основность компонентов штукатурки придает ей стойкость к бактериям и плесневым грибам.

Все это делает штукатурные покрытия на основе извести все более популярными среди потребителей.

Производимые в настоящее время российскими и зарубежными компаниями штукатурные составы на основе воздушной извести имеют стоимость в 2-3 раза выше стоимости своих цементных и гипсовых аналогов. Это связано с тем, что для их производства применяется известь-пушонка, которая отличается высокой энергоемкостью получения. Для достижения высокой пластичности и водоудерживающей способности растворной смеси и требуемой прочности затвердевшего раствора, необходимо достаточно большое содержание извести-пушонки в составе сухой смеси, которое варьируется от 25 до 40 % [1-3]. Кроме того, известково-песчаные штукатурные составы отличаются низкой скоростью твердения и не высокой прочностью затвердевшего раствора. Все это ограничивает применение известково-песчаных штукатурных смесей для широкого потребления. Поэтому исследования по созданию штукатурных смесей на основе воздушной извести с низкой стоимостью и высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками являются весьма актуальной задачей.

Степень разработанности темы. Исследования, описанные в диссертационной работе, выполнены в рамках научной школы академика РААСН С.В. Федосова и связаны с теоретическими и экспериментальными

исследованиями процессов твердения, формирования свойств и процессов протекания биологической коррозии растворов на основе извести. В рамках данной научной школы представлен большой объем исследований в области массопереноса при коррозии бетона и железобетона, в том числе и биологического воздействия, однако данные исследования направлены на цементные композиции, в связи с чем, необходимо расширение области исследований в направлении известковых составов.

Большой вклад в исследования биологической стойкости строительных композитов и способов ее повышения внесли: Ерофеев В.Т., Ерофеева И.В., Соломатов В.И., Строкова В.В., Строкин К.Б., Королев Е.В. Фундаментальные основы создания сухих строительных смесей, строительных растворов, отделочных и защитных покрытий, с повышенными эксплуатационными характеристиками сформированы на основании работ Баженова Ю.М., Селяева В.П., Низиной Т.А., Лесовика В.С., Пичугина А.П., Логаниной В.И., Пухаренко Ю.В., Белова В.В., Загороднюк Л.Х., Калашникова В.И., Пустовгара А.П. Вопросы разработки составов, выбора компонентов, топологии структуры строительных и отделочных материалов на основе извести решаются учеными Логаниной В.И., Пухаренко Ю.В. и Шангиной Н.Н. путем применения добавок на основе силикатов и алюминатов кальция, вступающих в химическое взаимодействие с гидроксидом кальция. Большой объем теоретических положений по получению строительных материалов на основе воздушной извести, твердеющих за счет принудительной карбонизации изложен в монографии Федоркина С.И. и Любомирского Н.В. Отмечая значимость научных результатов, полученных данными авторами, и основываясь на их теоретических положениях и экспериментальных данных, необходимо провести исследования по созданию сухих штукатурных смесей на основе воздушной извести, растворы которых твердеют путем естественной карбонизации.

Научная гипотеза диссертационного исследования. Путем повышения дисперсности гашеной извести в составе сухой штукатурной смеси достигается более высокая скорость карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, формируется равномерная мелкокристаллическая структура кальцита, что приводит к увеличению прочности затвердевшего раствора. Получение высокодисперсного $\text{Ca}(\text{OH})_2$ возможно путем гашения тонкомолотой воздушной извести совместно с песком в условиях, препятствующих свободному удалению пара.

Объектами исследования являются состав и свойства сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести.

Предмет исследования: эмпирические модели, отражающие взаимосвязь состава и свойств сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести и процессы твердения и структурообразования известковых композитов.

Цель диссертационной работы: разработка состава сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести с высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками.

Для достижения цели поставлены следующие **задачи**:

1. Изучить влияние различных способов гашения воздушной извести на дисперсность $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и процессы твердения и формирование структуры штукатурного раствора на ее основе.

2. Теоретически обосновать и экспериментально подтвердить возможность применения ИПС заводов по производству силикатного кирпича для получения сухой штукатурной смеси с высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками.

3. Выполнить экспериментальные исследования по влиянию модифицирующих добавок на свойства растворной смеси и затвердевшего раствора на основе ИПС. Получить математические модели свойств известкового штукатурного раствора от количества модифицирующих добавок.

4. Получить экспериментальные данные, характеризующие стойкость штукатурного раствора на основе воздушной извести к плесневым грибам.

5. Предложить технологические решения по организации производства сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести на предприятии по производству силикатного кирпича. Провести промышленные испытания и определить технико-экономическую целесообразность производства.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. Установлено, что при гашении тонкомолотой воздушной извести в смеси с песком, образуется высокодисперсный Ca(OH)_2 , со средним размером частиц 1,5 мкм, что оказывает влияние на процессы твердения и структурообразования штукатурного раствора, выражающееся в увеличении его степени карбонизации в возрасте 28 суток в 4,7 раза и формировании равномерной мелкокристаллической структуры кальцита по сравнению с раствором на основе извести-пушонки, имеющей средний размер частиц 30 мкм.

2. Определено, что высокая дисперсность Ca(OH)_2 способствует увеличению водоудерживающей способности известково-песчаной смеси на 9 % и прочности затвердевшего раствора в возрасте 28 суток в 2,5 раза, по сравнению с составом на основе извести-пушонки.

3. Методом математического планирования эксперимента получены математические модели, отражающие зависимость физико-механических характеристик затвердевшего штукатурного раствора от содержания модифицирующих добавок, позволяющие оптимизировать составы сухих строительных смесей.

Теоретическая и практическая значимость.

Изучено влияние способа гашения воздушной извести на дисперсность Ca(OH)_2 и процессы структурообразования и твердения известковых композитов. Предложено применять в качестве основы для сухой штукатурной смеси известково-песчаную смесь заводов по производству силикатного кирпича, что позволяет достигать высоких технологических и

эксплуатационных характеристик штукатурного раствора на основе воздушной извести и задействовать неиспользуемые мощности силикатных заводов в производстве новых видов продукции.

Получены эмпирические зависимости физико-механических характеристик известкового штукатурного раствора от содержания модифицирующих добавок, позволяющие оптимизировать составы сухих смесей.

Разработан состав сухой штукатурной смеси класса по прочности КП-II ($R_{сж}=2,5$ МПа), с капиллярным водопоглощением $0,4$ кг/(м²·мин^{0,5}), адгезионной прочностью $0,37$ МПа, паропроницаемостью $0,143$ мг/(м·ч·Па), при содержании извести в составе 11-13 %.

Методология и методы диссертационного исследования.

В работе проанализирован отечественный и мировой опыт научно-исследовательских работ в области создания сухих строительных смесей, обобщены практика применения современных штукатурных покрытий и тенденции развития данной области строительного производства. Изучены теоретические вопросы твердения и формирования структуры и свойств штукатурных растворов и способы их регулирования. На основании этого поставлена цель, сформулированы задачи и предложены пути их решения. При решении поставленных задач применялся метод математического планирования эксперимента, достоверность полученных результатов оценивалась с применением методов математической статистики. При проведении экспериментальных работ применялся комплекс стандартных методик, регламентированных требованиями нормативных документов, с использованием поверенного лабораторного оборудования и современные научные методы: растровая электронная микроскопия, дифференциально-термический и рентгенофазовый анализ.

Положения, выносимые на защиту:

- результаты исследования влияния способа гашения воздушной извести на дисперсность $\text{Ca}(\text{OH})_2$;
- результаты исследований влияния дисперсности гашеной извести на технологические свойства растворной смеси и формирование структуры и свойств затвердевших штукатурных растворов;
- эмпирические зависимости свойств известкового штукатурного раствора от вида и содержания модифицирующих добавок;
- результаты исследования грибостойкости известкового штукатурного раствора.

Степень достоверности полученных результатов.

При проведении экспериментальных исследований применялись стандартные методики испытаний с использованием приборов, прошедших метрологическую поверку. Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с применением статистических методов и согласуются с результатами производственных испытаний. Теоретические выводы не противоречат общепринятым закономерностям и известным данным.

Апробация результатов.

По теме диссертационного исследования опубликовано 13 научных работ, в том числе 5 статей в российских рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья в издании, входящем в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus. Получено 2 патента РФ на изобретения.

Результаты научных исследований докладывались на IX межрегиональном семинаре «Экологические аспекты современных городов» (г. Иваново, 2022 г.), на национальной научно-практической конференции «Актуальные экологические проблемы современных городов (г. Иваново, 2023 г.), на национальной молодежной научно-технической конференции «ПОИСК» (г. Иваново, 2022 г.) и на III Международном научно-

практическом симпозиуме «Материаловедение, строительство, технологии и энергетика», MSTE-III-2023 (Таджикистан, 2023 г.).

Внедрение результатов исследований.

Результаты исследований внедрены на предприятии ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (г. Тюмень). В состав предприятия входит технологический участок по производству силикатного кирпича. На основе ИПС применяемой для формования силикатного кирпича, организовано производство сухой штукатурной смеси, для чего реконструирован узел по окрашиванию ИПС и смонтирован участок для ее подсушивания. На данном участке выпущена пробная партия сухой штукатурной смеси, которая применена для оштукатуривания стен на объекте «Жилой квартал в границах ул. Дамбовская – Профсоюзная – р. Тура в г. Тюмени». По результатам оштукатуривания 800 м² стен установлено, что при стоимости сухой штукатурной смеси 9 руб. за 1 кг, снижение стоимости 1 м² штукатурного покрытия составляет 54 руб. по сравнению с ближайшим аналогом, что подтверждено актом внедрения.

На предприятии ООО «Меланж» (г. Тюмень) проведен промышленный эксперимент по высушиванию ИПС в сушильном барабане.

Теоретические положения диссертационной работы и результаты экспериментальных исследований используются в учебном процессе кафедры естественных наук и техносферной безопасности ФГБОУ ВО «ИВГПУ» при проведении лекционных и лабораторных занятий для обучающихся по направлению подготовки 05.03.06 Экология и природопользование, направленность – Охрана окружающей среды по дисциплинам: медико-биологические основы безопасности, токсикология; экология человека.

Личный вклад автора.

Автор сформулировал цель и задачи диссертационной работы, выбрал методы, разработал методологию проведения экспериментальных исследований и лично осуществлял постановку и проведение эксперимента по установлению влияния модифицирующих добавок на свойства сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести, проводил исследования биологической стойкости штукатурного раствора, обрабатывал и анализировал основные результаты. Автор разработал рекомендации по технологии производства сухой штукатурной смеси в условиях заводов по производству силикатного кирпича, практическая реализация которых также проводилась при его непосредственном участии.

Соответствие содержания диссертации паспорту специальности

2.1.5. Строительные материалы и изделия, по которой она рекомендуется к защите, в том числе пунктам:

1. Разработка и развитие теоретических и методологических основ получения строительных материалов неорганической и органической природы с заданным комплексом эксплуатационных свойств, в том числе специальных и экологически чистых.

5. Разработка и внедрение способов активации компонентов строительных смесей путем использования физических, химических, механических и биологических методов, способствующих получению строительных материалов с улучшенными показателями структуры и свойств.

15. Развитие теоретических основ и технологии получения вяжущих композиций и сухих строительных смесей различного назначения.

Структура и объем работы.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 217 наименований и 7 приложений. Работа изложена на 174 страницах машинописного текста, содержит 57 рисунков и 37 таблиц.

ГЛАВА 1. ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТИ

1.1. Исторические предпосылки применения известковых штукатурных растворов

Первые искусственные вяжущие материалы возникли, вероятно, в результате обжига каменных пород, использовавшихся для создания кострищ и очагов. По некоторым данным, порошки, получаемые при этом, использовались для настенной (наскальной) росписи жилищ. В последующем были отмечены и применены вяжущие свойства этих материалов. Получаемые обжигом каменных пород порошки начали использоваться в качестве кладочного раствора для связывания обработанных и необработанных камней [4]. Таким образом, стали появляться ограды и каменные возводимые жилища [5-7]. Дальнейшее развитие привело к появлению культовых и оборонительных сооружений, в возведении которых использовали вяжущие вещества, полученные искусственным путем.

Наиболее древние находки следов применения известковых штукатурных составов относятся к эпохе неолита и обнаруживаются практически на всей территории Ближнего Востока [8, 9].

В Древнем Египте в качестве вяжущего известь активно начали использовать с началом греческого владычества (332 – 30 гг. до н.э.). До этого, постепенно переходя от примитивного вяжущего – глины, древние египтяне использовали гипс. Гипс использовался в силу уровня развития пиротехнологии, связанного с ограниченным количеством топлива на данной территории [10]. На обжиг гипса тратится меньшее количество топлива, чем на обжиг извести. Это и сухой климат определили использование гипса в качестве основного вяжущего вещества в Египте на протяжении почти 3000 лет до прихода греков. В V – I веках до н.э. [11] на территории Древнего

Египта начали использовать известковые растворы, в том числе, с применением наполнителей, в основном известняковых.

Однако, согласно [11], существуют свидетельства применения извести для штукатурного основания под роспись стен.

В Древней Индии во времена Индской цивилизации (2600 – 1900 вв. до н.э.) известь в качестве вяжущего вещества для растворов наряду с обожженным кирпичом использовалась приблизительно с 2500-х гг. до н.э. Более высокое содержание извести исследователями обнаружено в конструкциях пола и гидротехнических сооружений. В надземных конструкциях установлено меньшее ее количество [10]. То есть древнеиндийские строители сознательно использовали известь или гипс с большим содержанием известняка в исходном сырье для повышения водостойкости строительных растворов.

Известь в древние времена использовали для строительства гидротехнических сооружений не только в Индии. Водостойкость вяжущему веществу придавали путем введения гидравлических добавок.

Раскопки одного из древнейших шумерских городов Месопотамии (VI – V тысячелетие до н.э. – VI в. до н.э.) и древней столицы Шумерско-Аккадского царства (с XXI в. до н.э.) города Ур показали, что для связывания кирпича в кладке древние строители использовали раствор извести и золы. Такие растворы были обнаружены и в гидротехнических сооружениях, в том числе они применялись для строительства колодцев. Следы применения известкового раствора были обнаружены на городищах Бирс-Нимруд и Каср (с арабского, Qasr – дворец), развалинах древних городов: аккадского Борсиппа, располагавшегося в 20 км от Вавилона, и части непосредственно Вавилона [10, 12].

В поздний ассирийский период (VIII – VII вв. до н.э.) в качестве вяжущего вещества для производства штукатурных растворов, которые потом покрывались фресками, использовали известь в смеси с гипсом [10].

В Финикии и финикийских колониях на побережье и островах Средиземного моря для производства кладочных работ применялись известковые растворы. Они использовались для связывания неотесанных или грубо отесанных камней и заполнения кладки. Несущей роли раствор не играл. Кладка из тесаных камней велась без применения раствора (что называется «насухо»), скреплялась скобами, которые впоследствии заливались свинцом. Применение извести в кладке стен при строительстве городов, храмов и гробниц в XII – VI вв. до н.э., а также устройства колодцев и водопроводов было обнаружено на юго-восточном побережье острова Кипр, в северной Африке (на территории Туниса).

При строительстве водопроводов использовали керамические гончарные трубы. Непосредственно соединение заполняли известковым раствором. Снаружи место соединения труб покрывали слоем битума. Результаты исследования водопровода на острове Кипр показали, что раствор заполнения стыков на, без малого, 93% состоит из карбонизированной извести [10].

Финикийцы считались искусными строителями и принимали участие в строительстве за пределами своего государства. Потому, строительные технологии, используемые финикийцами, были широко распространены за пределами страны, например, в Палестине, Малой Азии, на Кавказе. В I в. н.э. в Гарни на территории современной Армении была построена крепость. В пределах крепости возведен храм, являющийся на сегодняшний день единственным памятником греко-римской архитектуры на территории государства [13, 14]. Стены храма на финикийский манер были скреплены железными скобами, пазы залиты свинцом. Кладка крепостных стен была сложена «насухо» из тесанных базальтовых блоков, снаружи заполнена известковым раствором.

Начиная с IV в. до н.э. на территории Древней Греции для придания декоративной привлекательности стенам начали применять известковую побелку. При этом оштукатуривание каменных стен на тот момент не

применялось. К середине III в. до н.э. распространились использование штукатурных растворов и роспись стен. При этом для приготовления раствора для внутренних работ использовали гипс, для наружных – известь.

Документальным подтверждением применения извести в Древней Греции служит упоминание греческим писателем Теофрастом (около 370 – 285 гг. до н.э.) случая, когда перевозившее известь («живую» известь) судно воспламенилось вследствие ее намокания и последующего гашения [15].

Применение извести и растворов на ее основе в Древнем Риме отражено в трудах римского архитектора Витрувия (I в. до н.э.), писателя-энциклопедиста Плиния Старшего и Сенеки (I в. н.э.). Для придания гидравлических свойств известковым растворам использовали измельченную обожженную глину, тонко измельченный кирпич и рыхлый вулканический пепел, залежи которого располагались в предместьях Неаполя близ города Путеолы (Пуццоли, современное название – Поццуоли). Добавка эта носила название *pulvis putceolanus* [15].

Кроме пуццоланы, для придания гидравлических свойств, использовали отходы гончарного производства. Большое количество отходов было связано с несовершенством гончарного производства.

Особо широкое распространение известь получила в эпоху расцвета техники в Риме в I – II вв. н.э. [5]. Непосредственно Рим во время своего наивысшего развития представлял собой город с населением более 1 миллиона человек. В Риме велось массовое строительство многоквартирных домов – инсул.

Обеспечение городов Древнего Рима водой осуществлялось посредством акведуков, представлявших собой открытые каналы, выложенные из камня, устроенные в траншеях, в неровностях рельефа или по мостовым арочным конструкциям. Движение воды происходило самотеком за счет превышения уровня относительно источника водоснабжения и точки потребления. Акведуки требовали гидравлически стойкого раствора, который должен был обеспечить, не только непроницаемость стенок водоводного

канала, но и достаточную прочность кладки мостовых конструкций, высота которых достигала десятков метров. То же относится и к римским фортификационным сооружениям, основными из которых были каструмы (лат. *castrum, castra*) – пограничные военные лагеря, в которых располагались римские легионы. Их стены возводились из нетесаных камней неправильной формы. Образовавшиеся при укладке камней значительные пустоты также заполнялись известковым раствором с гидравлической добавкой [5].

Известково-пуццолановые, известково-цемяночные, часто известково-пуццолано-кирпичные растворы были обнаружены при изучении римского форума (начало строительства VIII в. до н.э., активно застраивался и перестраивался во II – I вв. до н.э.), вала Адриана – оборонительного сооружения протяженностью 117 км, расположенного на севере Англии, построенного при императоре Адриане в 122 – 128 гг. н.э. для защиты от набегов местных племен, айфельского акведука (около 80 г. н.э.) – водовода протяженностью более 90 км, проложенного от гор Айфель до римского поселения, находившегося на месте современного города Кельна [5].

Применение известковых растворов распространилось по всем провинциям Рима и впоследствии они использовались на территориях Восточной Римской Империи и Византии, феодальных итальянских княжеств и Итальянского королевства, Франкской и Великой Римской империи, Франции и Британии, Испании, Северной Африки. В дальнейшем их применение распространилось по территории всей Европы, а также частично Руси и в дальнейшем России [10].

В Европе в период раннего средневековья в VII – VIII вв. церкви и монастыри строили из каменных блоков, скрепляя их известковым раствором. Оштукатуривание стен зданий в этот период не применялось. За исключением церквей в Англии и Франции в V – XI вв., где отделка стен все-таки производилась. Отделка стен жилых зданий заключалась в лучшем случае в побелке или окрашивании известковым составом или преимущественно вообще не применялась.

Начиная с романского периода в архитектуре в X – XII вв. с каменными стенами на известковом растворе начали строить не только культовые сооружения, возводимые преимущественно силами монастырей, но и светские, которые возводились цехами каменщиков. В это время в кладке начинают использовать, наряду с известковыми, растворы на основе гипса или смешанные растворы. Сохранялись римские традиции строительства, которые не предусматривали применения гипса. Потому итальянские строители и выходцы из бывшей римской империи использовали гипс в смеси с известью, песком и кирпичной мукой [10].

В Англии применение штукатурок было законодательно предписано после Великого пожара в Лондоне 10 июля 1212 г. [5]. Все началось с предписания оштукатуривать дома, покрытые соломой и камышом, и в качестве штукатурки использовался глиняный раствор. Но дальнейшее развитие строительной технологии привело к использованию дранки и оштукатуриванию растворами на основе вяжущих веществ – извести и гипса.

Позднее широкое распространение чистые известковые растворы получили в качестве грунтов под фресковую живопись [16-22]. Штукатурные покрытия в Европе все активнее начали применять с готического периода (XI – XVI вв.). Основной задачей их использования на тот момент была подготовка каменных стен для нанесения фресок. В Эпоху Возрождения (XV – XVI вв.) была восстановлена, утраченная на тот момент, технология создания стучков – тонких штукатурок, также применяемых в качестве основания для фресковой росписи [10].

Первое из дошедших до наших дней упоминание применения извести на Руси – это возведение Десятинной церкви в Киеве в 990 г (989 – 996 гг.) князем Владимиром Святославовичем – крестителем Руси [22]. На момент постройки церковь была крупнейшей в Киеве. Она простояла до 1240 года, и была разрушена при захвате Киева ордой хана Батыея. Строительство велось из плинф, плоского обожженного кирпича размерами, отличающимися от современных и примерно составляющими 300×350×25 мм, скрепленных

известковым раствором. При этом кладка велась таким образом, что толщина слоя раствора была примерно равна толщине плинфа.

При строительстве Софийского собора (собора Святой Софии) в Киеве (рис. 1.1), возведенного при князе Ярославе Владимировиче (Мудром) в первой половине XI в, применялись не только плинфы, но и природный камень, а в качестве связующего материала использовался известковый раствор с большим количеством тонкоизмельченного обожженного кирпича в качестве гидравлической добавки [22]. Применение молотого кирпича позволило повысить стойкость раствора к действию влаги и окружающей среды и обеспечило сохранность в течение длительного времени, благодаря чему, собор стоит по сей день.



Рисунок 1.1 – Фрагмент кладки собора Святой Софии в Киеве, XI в.

На протяжении периода с XI в. по XV (XVII) в. на Руси использовалась как жирная кальциевая, так и тощая магнизиальная известь с различными гидравлическими добавками [22, 23]. Одной из таких добавок являлся тонкомолотый керамический кирпич. Высококачественные кальциевые извести и правильный подбор добавок позволял получать раствор, который способствовал сохранению памятников русского зодчества до наших дней. При этом прочность кладочных растворов, отобранных из кладки исторических зданий, может достигать 7 МПа [23].

Развитие науки позволило лишь в конце XVII в. найти достойную замену пуццолане. Вплоть до этого момента сохранялись римские традиции приготовления известковых растворов с гидравлическими добавками. Пуццолана, использовавшаяся в качестве добавки и применяемая по всей Европе, доставлялась из Италии.

Однако еще в римских сооружениях на территории Германии отмечено применение в качестве гидравлической добавки трассов – вулканических материалов местного происхождения, отличных от пуццоланы [5]. После некоторого перерыва в Германии и Голландии в XVII-XVIII вв. вместо привозной и весьма дорогостоящей пуццоланы начали использовать вулканический туф, добываемый в долине Рейна. Наличие вулканических пород в регионе обусловлено потухшим вулканом Кайзерштуль, который образует одноименное нагорье. В 1682 г. голландец Ван Сантен начал добавлять тонкомолотый туф (трасс) в известковые растворы, получив при этом удовлетворительный результат. Это дало основание в дальнейшем использовать каменноугольные золы и шлаки и природные кремнеземистые материалы в качестве гидравлических добавок к извести [15].

В это время в России в «Трудах вольного экономического общества» и «Технологическом журнале» русский ученый химик и минеролог Василий Михайлович Севергин (1765 – 1826 гг.) описывал производство гидравлической извести из мергелистых, содержащих глиняные примеси, известняков [23].

С начала XVIII в. природная гидравлическая известь приобретала все большую популярность в Англии. Одним из известных примеров ее применения является строительство близ Плимута Эдистонского маяка в 1759 г., возведенного инженером-архитектором Джоном Смитом, в честь которого был назван башней Смита. Это было первое сознательное применение природной гидравлической извести. [15, 16]. Смитон применил известь, полученную обжигом глинистых известняков, с содержанием

глинистых примесей до 25%, значительно повысивших гидравлические свойства известкового раствора.

Позднее, в начале XIX в., французский инженер Луи Жозеф Вика заложил теоретическую основу и популяризовал применение гидравлической извести в строительстве не только во Франции, но и по всей Европе [15]. Он работал над получением цемента из искусственно подобранной смеси. Первые результаты этой работы были опубликованы в 1818 г. Во Франции его считают изобретателем портландцемента.

Французский инженер, профессор строительного дела Института путей сообщения и академик Императорской Академии Наук в Санкт-Петербурге Антуан Рокур (де Шарлевиль) (1789 – 1841 гг.), будучи на русской службе с 1821 по 1826 год, в 1822 г. опубликовал «Трактат об искусстве изготовления хороших строительных растворов и правильного их использования». В «Трактате» были отражены результаты исследований сотрудников института по применению природных мергелистых пород для получения вяжущих материалов, проведенных ими в период с 1819 по 1822 годы. Целью работы было получение гидравлической извести и гидравлических цементов. В «Трактате» описывалось получение искусственных цементов обжигом из специально приготовленной смеси известняка и глины с последующим измельчением, а также применение природных и искусственных гидравлических добавок [23].

Британский священник и, позднее, промышленник – производитель цемента, Джеймс Паркер запатентовал в 1796 году романцемент [4, 10]. С его использованием в 1807 – 1810 гг. был построен старейший из существующих омываемых морем маяк Белл Рок, расположенный в Северном море у побережья Шотландии. Основная кладка маяка была выполнена из раствора на основе извести, пуццолановой добавки и чистого местного песка в пропорции примерно 1:1:1. Расшивка швов лицевой кладки осуществлялась раствором на основе романцемента [5].

В 1824 году Джозефа Аспдин (1788 – 1855) запатентовал способ обжига цемента. Получаемый при этом материал он назвал портландцементом из-за схожести затвердевшего цемента с каменной породой, образующей остров Портленд, расположенный на побережье пролива Ла-Манш в южной Англии.

В 1846 году завод, на котором производили романцемент был продан его сыну Уильяму Аспдину, который после ряда усовершенствований технологии, зафиксированной в патенте от 1824 года (в 1843, 1848 и 1853 годах), получил некоторое подобие современного портландцемента, который все еще представлял собой больше гидравлическую известь, чем портландцемент [15].

С этого времени настала эра портландцемента в строительстве. Развитие его свойств и технологии позволило портландцементу захватить доминирующую позицию в строительстве среди остальных вяжущих, за которыми остались преимущественно специальные области применения. В России все каменные здания и сооружения, возведенные до конца XIX в., а также подавляющее большинство домов начала XX в. построены на известковом связующем и оштукатурены известковыми составами [24], что связано с более поздним развитием массового производства портландцемента. Хотя и в послевоенных постройках Советского Союза встречаются известковые штукатурные покрытия стен [25].

Многочисленные свидетельства применения растворов на основе извести в древние времена, дошедшие до наших дней, свидетельствуют об их высокой долговечности при правильном проектировании составов, а современные методы исследования и накопленные человечеством знания и опыт способны вернуть жизнь растворам на основе извести и ориентировать их применение на благо человечества.

1.2. Современные тенденции производства штукатурных растворов

В настоящее время в технологиях работ с применением строительных растворов преобладает использование сухих строительных смесей. С появлением и широким распространением технологических приемов механизированного нанесения отделочных покрытий с помощью штукатурных станций [26-37] вернуть застройщиков к технологиям, использующим готовые строительные растворы, уже невозможно. Применение сухих строительных смесей дает преимущество не только в ритмичности производства работ (отсутствие зависимости от поставок готовых растворных смесей), но и в культуре производства. Подача сухих строительных смесей пневмотранспортом непосредственно в смесительную камеру штукатурной станции, куда также подается вода и происходит приготовление готового раствора, практически исключает просыпи, разбрызгивание и т.д., после выполнения работ помещения остаются практически чистыми. Кроме того, сухие смеси – это готовые к применению заводские составы, что гарантирует стабильность показателей качества готовых покрытий [38-40]. В частном секторе уже давно наблюдается такая же тенденция. Никому и в голову не приходит готовить штукатурный раствор, смешивая цемент с песком в гравитационных смесителях. Поэтому разработка составов штукатурных растворов должна быть направлена на производство готовых к применению сухих строительных смесей.

Сухие штукатурные смеси традиционно производят с применением следующих вяжущих: цемент, известь, гипс или их смеси [41-46]. Гипсовые сухие штукатурные смеси бесспорно являются лидерами строительного рынка, что обусловлено в первую очередь скоростью их твердения и качеством получаемой поверхности. Особенно это актуально для крупных застройщиков. Тенденция продажи квартир с улучшенной черновой отделкой диктует необходимость получения светлой, достаточно ровной и гладкой поверхности покрытия стен. Произведя нанесение штукатурного раствора в

первой половине дня, через 5-6 часов можно осуществлять финишную обработку поверхности гипсовой штукатурного покрытия. Как правило, обработка поверхности заключается в ее затирке мокрыми губками, что удаляет неровности, пузырьки и каверны. В итоге, готовое штукатурное покрытие с хорошей качественной поверхностью можно получить за 1 день и перейти на новый участок работ. Цементные штукатурные растворы, хотя и дешевле гипсовых, твердеют более длительное время, не дают гладкую поверхность и имеют темный цвет, что визуалью сказывается на восприятии объема помещения, поэтому для оштукатуривания квартир в настоящее время применяются редко. Хотя для санузлов цементная штукатурка остается единственным вариантом. В частном секторе также преобладает применение гипсовых штукатурных смесей, хотя доля цементных штукатурок выше, чем в централизованной застройке, что связано с меньшей их стоимостью.

Содержащие известь штукатурные смеси можно условно разделить на смешанные цементно-известковые и чистые известковые. Цементно-известковые штукатурные смеси в основном позиционируются как растворы для газобетона [47-51] или санирующие составы [52-54], что обусловлено их высокой паропроницаемостью. Растворы, не содержащие цемент или гипс, имеющие в составе в качестве вяжущего только известь, выпускаются как материалы для реставрации исторических объектов [24, 55-62] и не только в России, но и за рубежом. Например, в Китае очень много памятников архитектуры времен династий Мин (1368-1644 гг. н.э.) и Цин (1644-1911 гг. н.э.), которые, по прошествии нескольких сотен лет, все еще хорошо сохранились, но все-таки требуют реставрации. Согласно уникальной формуле, записанной в древних книгах, строительные растворы, используемые в этих сооружениях, в основном изготавливались из извести и клейкого рисового раствора. Исследования структуры древних растворов, проведенные в Чжэцзянского университета, Ханчжоу, Чжэцзян (Китай) с помощью дифференциально-термического и рентгенофазового анализа подтвердили, что они состоят из кальцита, являющегося результатом

карбонизации гидратной извести, и клейкого риса. Исследование морфологии кристаллов CaCO_3 в древних штукатурках и моделирование процесса формирования кристаллической структуры известковых растворов в присутствии клейкого риса и без него показали, что клейкий рис оказывает существенное влияние на морфологию кристаллических фаз раствора и способствует формированию равномерной мелкокристаллической структуры, что положительно сказывается на его прочности. Учеными определено, что процессы, происходящие при твердении известковых растворов в присутствии клейкого риса очень схожи с тем, что происходит в растворах в присутствии бутадиен-стирольного латекса [63]. Поэтому, создание реставрационных штукатурных растворов на основе извести направлено на разработку полимерминеральных композиций. Для реставрации памятников архитектуры в Шанхае применяли эпоксидные смолы и материалы на цементной основе. Но, время показало несовместимость данных материалов с историческими известковыми составами, что вновь поставило вопрос о реставрационных материалах, в качестве которых стали применять гидравлическую известь [64]. Известковые штукатурные растворы для реставрации памятников архитектуры применяют и в Испании. Проблемы высокого капиллярного водопоглощения решаются путем применения гидрофобизирующих добавок – олеатов и стеаратов кальция [65]. Есть известковые штукатурные растворы и шпатлевки, требующие реставрации и в исторических зданиях в Шотландии. Для предотвращения растрескивания штукатурных покрытий на протяжении веков в них добавляли конский волос. В настоящее время в отделочных покрытиях широко применяются волокна различной природы. Однако вневедомственная государственная организация Историческая среда Шотландии придерживается принципа «замена подобного на подобное», поэтому ученые проводят серьезные исследования по воспроизведению известковых штукатурок, армированных конским волосом [66]. В США старую известковую штукатурку восстанавливают путем пропитки известковым молоком. На тонкодисперсных кристаллах

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ происходит процесс карбонизации, что приводит к уплотнению рыхлого штукатурного слоя [67]. Исследованиями по восстановлению старых штукатурных покрытий наноизвестью занимается Джованни Боско в Делфтском технологическом университете (Нидерланды) [68]. Наноизвесть представляет собой наноразмерные частицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$, диспергированные в спирте. Получают путем перемешивания в течение нескольких часов металлического кальция в воде в реакторе при температуре 90 °С. Затем вода экстрагируется с помощью стеклянных мерных пипеток и заменяется короткоцепочечным алифатическим спиртом. Наноизвесть, диспергированная в этаноле и изопропане может проникать в мелкие поры подложки, благодаря высокой кинетической стабильности. Уплотнение и упрочнение материала достигаются благодаря проникновению наночастиц гидроксида кальция в обрабатываемый материал и их последующей карбонизации. Высокая активная поверхность наночастиц обеспечивает высокую реакционную способность, а спиртовой растворитель – высокую стабильность и концентрацию извести, обеспечивая, таким образом, высокую эффективность.

Чешские готические постройки оштукатурены преимущественно растворами на основе известкового вяжущего с наполнителем из кварцевого песка сухой добычи. Подобные растворные смеси и рекомендуется применять для их реставрации [69].

В Чехии реставрационные известковые штукатурки выпускают в промышленном масштабе с применением традиционного для них материала – метаксаолина, так как Чехия богата залежами каолина. Это придает штукатурному раствору способность к гидравлическому твердению и позволяет достигать прочности до 6 МПа, однако приводит к снижению паропроницаемости [70].

Таким образом, отделочные материалы на основе извести во всем мире в первую очередь воспринимаются как реставрационные и для широкого массового применения не предлагаются. Связано это с некоторыми

особенностями чистых известковых составов: медленное твердение, низкая прочность [71] и при этом высокая стоимость. Решив эти проблемы, можно значительно повысить спрос на известковые штукатурные составы.

Несмотря на это, интерес к известковым штукатурным растворам все-таки растет. Учеными Строковой В.В., М.Н. Сивальневой, С.В. Неровной, Б.Б. Второвым проведен анализ статей, посвященных известковым и известково-цементным штукатуркам в российских и зарубежных изданиях за период с 2010 по 2021 гг., и выявлено, что пик публикационной активности приходится на 2018-2020 гг., а только за I квартал 2021 г. опубликовано 4 статьи по данной тематике, что подтверждает растущую актуальность данной темы [72].

Если раньше, до развития массового промышленного производства цемента и гипса, известковые растворы имели широкое распространение в связи с доступностью извести, то сегодня это имеет абсолютно другую природу. С повышением уровня жизни населения, все больше внимания со стороны потребителей уделяется вопросам экологической безопасности и безвредности применяемых материалов [73-85].

Такие тенденции не беспочвенны. У 30-40% процентов населения выявлены одно или несколько аллергических заболеваний, и этот показатель удвоился только за последние 15 лет, и, согласно прогнозам, будет увеличиваться и дальше в геометрической прогрессии [86]. Особенно аллергическим расстройствам подвержены дети и подростки и не только в виде кожных реакций, но и в виде заболеваний дыхательных путей, которые наиболее чувствительны к изменениям в окружающей среде. По данным «ГНЦ Институт иммунологии» ФМБА России различными формами аллергии страдает от 17,5 до 30% жителей страны.

Аллергия может носить наследственный характер или приобретенный. Причиной возникновения приобретенной аллергии являются бактерии, вирусы и грибы, обладающие патогенными свойствами. Если аллергия имеет наследственный характер, то свойства окружающей среды (температура,

влажность, запыленность, патогенность, загрязненность углекислым газом и т.п.) будут влиять на степень ее проявления. Самыми распространенными видами аллергии являются риниты, конъюнктивиты, риносинуситы, астма, кожные реакции и т.д. На общее самочувствие человека, состояние слизистых оболочек и кожных покровов огромное влияние оказывает влажность воздуха.

При повышенной влажности окружающего воздуха затрудняется испарение лишней влаги с кожных покровов и слизистых оболочек тела человека. Это может привести, во-первых, к перегреву организма, что сопровождается вялостью, тошнотой и кислородным голоданием мозга, во-вторых, способствует более интенсивному росту и размножению болезнетворных микроорганизмов.

Недостаточная влажность воздуха, наоборот, приводит к интенсивному испарению влаги с кожных покровов и слизистых оболочек, что приводит к их пересыханию, растрескиванию и ухудшению состояния, особенно негативно это сказывается на состоянии верхних дыхательных путей. Пересыхание верхних дыхательных путей снижает их способность препятствовать проникновению инфекций вглубь организма, и может приводить к очень опасным последствиям.

Огромное влияние влажности на состояние здоровья и особенно аллергические реакции организма отмечается и зарубежными учеными [87]. Особенно отмечается важность поддержания влажности на постоянном уровне. Интересные исследования проведены в Центре инновационных строительных материалов BRE, факультета архитектуры и гражданского строительства, Университета Бата, Бат, Великобритания. В экспериментальном помещении в течение длительного срока оценивалось влияние различных штукатурных покрытий, на основе гипса, глины и извести на температурно-влажностный режим внутри помещения. Показано, что штукатурные покрытия в целом положительно влияют на колебания влажности в помещении. В помещении без штукатурного покрытия

колебания влажности достигали 37%, тогда как паропроницаемые штукатурные покрытия на основе гипса, глины и извести снижали амплитуду колебаний влажности до 10-13%.

Штукатурные покрытия на основе извести обладают более высокой паропроницаемостью по сравнению с цементными [73, 88], а, следовательно, регулируют влажность в помещении. При высокой влажности они впитывают лишнюю влагу, а при низкой – отдают обратно в окружающую среду. Высокая щелочность придает штукатурному покрытию стойкость к бактериям и плесневым грибам. За счет высокой паропроницаемости на поверхности стены не образуется конденсат, создающий комфортные условия для развития болезнетворных организмов и плесневых грибов.

Вероятность развития колоний грибов на внутренних поверхностях ограждающих конструкций характерна не только для стран с суровыми климатическими условиями, где этот процесс провоцируется промерзанием конструкций с образованием конденсата на наиболее холодных участках стен, но и для стран с субтропическим жарким и влажным климатом [89]. Так, например, в Шанхае, частые перепады температур и высокая влажность воздуха провоцируют образование грибов и плесени. Исследователи и промышленные предприятия Китая придерживаются подхода в борьбе с этой проблемой, основанного на создании штукатурных покрытий с высокой паропроницаемостью, для адсорбирования лишней влаги, и называют ее климатической штукатуркой. Достигается это путем замены большей части цемента в штукатурных покрытиях на известь

В странах с высокой плотностью населения очень актуальным является снижение уровня загрязнения воздуха углекислым газом. В этом направлении также находят применение содержащие известь материалы, вследствие своей способности связывать CO_2 в процессе карбонизации. В Сингапурском национальном университете проводятся исследования по созданию известковых штукатурных составов, содержащих биоуголь – частицы торфа с высокой активностью по поглощению CO_2 , что является еще одним

интересным и перспективным направлением известковых штукатурных покрытий [90].

Еще одним интересным направлением применения известковых покрытий является нанесение на горные породы, содержащие радон. Известковое покрытие может снизить уровень радиоактивного излучения на 25%, поэтому целесообразно их применение в подземных помещениях (подвалах, тоннелях и т.п.) [91].

С точки зрения микробиологической безопасности известковые и известково-цементные штукатурные материалы признаются наиболее эффективными во всем мире. А вопросы создания здорового микроклимата, и обеспечения нормального тепло-влажностного режима ограждающих конструкций решается путем создания паропроницаемых покрытий с низкой плотностью.

Так в Чешском техническом университете в Праге проводятся исследования по созданию штукатурных покрытий на смешанном известково-цементном вяжущем с применением в качестве заполнителя суперабсорбирующих полимеров (SAP) [92].

Сверхпоглощающие полимеры или суперабсорбенты представляют собой один из видов функциональных макромолекул с гидрофильными полигидроксильными и слабо сшитыми трехмерными сетчатыми структурами. Чаще всего представляют собой полиакрилаты или полиакриламиды. Благодаря своей уникальной структуре и групповым особенностям SAP обладают сверхвысокой способностью поглощать и удерживать воду, содержание которой в 4000 раз может превышать их собственный вес, при этом поглощенная вода либо не выделяется, либо выделяется медленно. Поэтому, чаще всего их применяют в таких областях как гигиена и сельское хозяйство. Наполнитель такого рода, например, используется в детских подгузниках.

В исследованиях чешских ученых применялся наполнитель SAP с насыпной плотностью 600 кг/м^3 и средним размером частиц 284 мкм,

который вводился в состав штукатурной смеси в количестве 0,5, 1,0 и 1,5%. В результате были получены штукатурные растворы средней плотностью от 1284 кг/м³ до 1482 кг/м³, теплопроводностью в сухом состоянии от 0,45 до 0,58 Вт/м·°С, обладающие более высокой степенью адсорбции и десорбции водяных паров по сравнению с гипсовой штукатурной смесью.

Другие ученые [93] предлагают для снижения плотности и коэффициента теплопроводности, а также повышения паропроницаемости известково-цементных штукатурок заменять кварцевый песок, частично или полностью, на перлитовый песок. Такая замена приводит к значительному повышению гигроскопичности штукатурного покрытия. Данная проблема решается применением силиконовых гидрофобизаторов.

В последние десятилетия активно развивается тенденция применения в отделке жилых помещений натуральных природных материалов или их комбинирование с традиционными минеральными составами. Например, сочетание побочных продуктов сельскохозяйственных культур (рисовой шелухи, льна, конопли, кукурузы) и традиционных связующих – извести или цемента. При сочетании цемента с органическими природными материалами надо учитывать возможное содержание в них гемицеллюлозы, крахмала, сахаров и других веществ, нарушающих твердение портландцемента. Известь же отлично сочетается с растительными отходами, их сочетание позволяет получать штукатурные составы с низкой плотностью и теплопроводностью, высокой паропроницаемостью и биостойкостью [94].

В Политехническом институт Сетубала (Португалия) получены высокоэффективные теплоизоляционные штукатурные растворы с высокой паропроницаемостью на основе гидравлической извести, содержащие в составе в качестве заполнителя пробковый гранулят [95].

Первыми, кто начал развивать массовое производство известковых материалов для отделки жилых помещений, стали немецкие и австрийские компании. Например, немецкая компания Sievert под торговыми марками Quick-mix [96, 97] и Akurit выпускает широкую линейку продуктов на основе

известии: штукатурки, шпаклевки, краски, и позиционирует их как гипоаллергенные продукты [98, 99]. Марка Baumit зародилась в 1988 г. в результате партнерства двух австрийских предприятий по производству строительных материалов и в настоящий момент также выпускает линейку сухих строительных смесей на основе известии. Несмотря на то, что обе эти компании имеют производства в России, стоимость их продукции, особенно на основе известии, достаточно высока и варьируется в пределах 600-800 руб. за мешок вместимостью смеси 25 кг.

Использование известковых растворов набирает обороты в связи с повышением осведомленности об их экологических и конструктивных преимуществах и в Англии. Эта тенденция актуальна как для новых зданий, так и для реставрации старых [100].

Известковые, известково-цементные и известково-гипсовые сухие строительные смеси в России выпускают компания ООО «Ажио» под торговой маркой «Рунит» и компания ООО «Крепс» под названием «Антик-2». Чистые известковые штукатурки на основе известии, не содержащие в составе других вяжущих, позиционируются ими как смеси для реставрационных работ, и вследствие высокой стоимости 450-500 руб. за мешок в 25 кг не представляют интереса для широкого круга потребителей. Данные смеси имеют все особенности свойств, характерные для известковых штукатурных смесей – медленное твердение и невысокую прочность, что также препятствует их применению в жилищном строительстве.

Поэтому необходим поиск путей улучшения таких свойств известковых штукатурных смесей как прочность, водостойкость, скорость твердения, при сохранении высокой щелочности, биостойкости и паропроницаемости.

1.3. Известково-песчаные смеси заводов по производству силикатного кирпича для штукатурных растворов

Дисперсность вяжущих материалов является важным фактором, влияющим на свойства растворов и бетонов на их основе, так как определяет полноту и скорость гидратации, формирование кристаллической структуры, и, в конечном итоге, влияет на требуемый расход вяжущего в смеси. Это справедливо и по отношению к гидратной извести в составе штукатурной смеси.

В исследованиях [101, 102] приводятся данные, что при гашении извести в пушонку, зерна $\text{Ca}(\text{OH})_2$ получаются более крупные, чем при приготовлении теста. Так, Уэльс [102] приводит данные о том, что средний размер частиц извести-пушонки приблизительно равен 6 мкм, ее удельная поверхность составляет 400 $\text{м}^2/\text{кг}$, а в тесте – 1 мкм и 2000 $\text{м}^2/\text{кг}$, соответственно.

Когда речь идет о производстве сухой строительной смеси, предварительное гашение извести с большим количеством воды «в тесто», будет требовать ее последующее высушивание и помол, что весьма энергоемко и трудозатратно.

Приблизить условия гашения извести к условиям при приготовлении известкового теста, при этом исключив образования высоковязкой коагуляционной структуры с очень высоким водосодержанием, можно путем ее совместного гашения в смеси с песком в большом объеме. Такая технология реализуется на заводах по производству силикатного кирпича при подготовке известково-песчаной смеси, из которой потом осуществляется формование силикатных изделий.

Известково-песчаная смесь (ИПС) представляет собой смесь песка и гидратной извести, в которой гашение извести происходит в смеси с песком в силосах или реакторах. Основными характеристиками ИПС, которыми оперируют силикатные заводы, являются активность (содержание активных

CaO и MgO) и влажность. Согласно литературным данным [102, 103], активность ИПС, достаточная для получения качественного кирпича, лежит в пределах 6-8%. Однако, в реальных заводских условиях в зависимости от качества применяемого сырья, требований к готовой продукции и технологических особенностей производства активность смеси колеблется от 8 до 11 %. Влажность смеси определяется формующим прессовым оборудованием, так для старых прессов СМС револьверного типа она составляет 8-9 %, для современных гидравлических прессов – 6-8 %.

Заводы по производству силикатного кирпича могут работать по так называемой «прямой технологии» или «традиционной технологии» [104-107]. Прямая схема подразумевает применение для приготовления ИПС молотой негашеной извести, а классическая – известково-кремнеземистого вяжущего. Прямая технология требует применения полифракционных песков с минимальной пустотностью или смешивания песков с разным гранулометрическим составом. В России, с ее обширными территориями, заводы по производству силикатного кирпича строились, как правило, большой мощности и с учетом того, что в силикатном кирпиче доля песка достигает 90%, потребление песка силикатными заводами просто огромное. Большого количества крупных месторождений песка с оптимальным зерновым составом в России нет, поэтому силикатные заводы работают на местных месторождениях песка, которые, как правило, имеют прерывистый или монофракционный состав. В этом случае минимизировать влияние данного фактора на свойства формовочной смеси и готовой продукции можно за счет применения вместо чистой извести известково-кремнеземистого вяжущего, что и реализуется на большинстве предприятий России и на всех предприятиях, построенных в советское время. Тем не менее, все силикатные заводы имеют возможность осуществлять шихтовку двух-трех видов песка на стадии их подачи в производство, что может быть использовано при необходимости получения требуемого гранулометрического состава заполнителя для сухой строительной смеси.

В первом полугодии 2022 г. в РФ действовало 58 силикатных заводов. Основной объем производства силикатных стеновых материалов традиционно приходится на долю Приволжского и Центрального федеральных округов, где сосредоточено наибольшее число действующих силикатных заводов. По оценкам «ГС-Эксперт», в этих округах суммарно производится около 65-67% производимых в стране силикатных стеновых материалов [108]. Однако в Уральском федеральном округе только в Тюменской области имеется два достаточно крупных силикатных производства (ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» и АО «Комбинат строительных материалов») суммарной мощностью около 200 млн. штук условного кирпича, а также в соседней Свердловской области один завод (ООО «Каменск-Уральский завод строительных материалов» (SiMAT)) производительностью до 60 млн. штук.

По данным Росстата (рис. 1.2), по состоянию на конец 2021 г. суммарная мощность российских силикатных заводов составила 3933 млн. усл. кирп. (на 19 млн. усл. кирп. меньше по сравнению с предыдущим годом). Средняя загрузка производственных мощностей производителей силикатных стеновых материалов в 2021 г. составила всего около 45% [108].



Источник: оценка ГС-Эксперт на основе данных Росстата и данных предприятий

Рис. 1.2. Производственная мощность предприятий – производителей силикатных стеновых материалов в 2017-2021 гг.

Объем производства определяется спросом на продукцию, а падение спроса на силикатный кирпич в последние 10-15 лет, да и на керамический кирпич тоже, связано с бурным развитием монолитно-каркасного строительства и снижением доли зданий с несущими стенами из мелкоштучных материалов [108]. Для заполнения проемов в монолитно-каркасных зданиях силикатный кирпич не применяется вследствие его достаточно большой плотности по сравнению с газобетоном или керамзитобетоном.

Следовательно, заводы по производству силикатных изделий до 50% своих мощностей не реализуют, и целесообразным является переориентация данных мощностей на производство другого вида более востребованной продукции, например, штукатурной смеси.

Многие заводы по производству силикатного кирпича давно реализуют известково-песчаную смесь в качестве готовой штукатурной смеси или основы для производства штукатурной смеси на строительном объекте. В 1990-х – 2000-х годах в Тюмени популярным решением у строителей было добавление цемента в ИПС на строительном объекте при приготовлении штукатурной смеси в перемешивающих устройствах. Известь, содержащаяся в ИПС, придавала «жирность» штукатурному раствору и хорошую адгезию, поэтому достаточно было ввести в смесь 5-10% цемента, что делало ее экономически очень привлекательной. Некоторые застройщики вообще применяли ИПС как готовую штукатурную смесь, но такой раствор был неудобнообрабатываемым, а прочность затвердевшего раствора была невелика. Однако, с появлением сухих строительных смесей и штукатурных станций для их нанесения, технология приготовления растворов на объекте безвозвратно ушла в прошлое. В связи с этим, целесообразно рассмотреть возможность производства готовой сухой штукатурной смеси на основе ИПС заводов по производству силикатного кирпича.

1.4. Регулирование свойств штукатурных растворов на основе извести

1.4.1. Регулирование свойств извести путем применения минеральных добавок

Широкое распространение нашел метод повышения прочности и водостойкости известковых штукатурных растворов путем направленного управления структурообразованием за счет применения активных минеральных добавок (диатомита, трепела, опоки, микрокремнезема, метакаолина, молотого керамического кирпича и т.д.) [1, 109-122], или добавок, содержащих гидросиликаты кальция [59, 123-127] или гидроалюмосиликаты натрия (цеолиты) [128, 129].

Разработке и применению добавок на основе гидросиликатов кальция посвящено большое количество работ под руководством профессора Логаниной В.И. в Пензенском государственном университете архитектуры и строительства.

Добавки на основе гидросиликатов кальция получают путем осаждения из растворов жидкого стекла при добавлении CaCl_2 . Они состоят из низкоосновных и высокоосновных гидросиликатов кальция. Гидросиликаты кальция в добавке способствуют связыванию свободной извести из раствора с образованием дополнительного количества гидросиликатов кальция, что приводит к значительному увеличению прочности и водостойкости известковых композитов [130]. Частицы добавки-наполнителя имеют преимущественно игольчатую форму и дополнительно выступают в роли микроармирующего компонента [131]. Синтезирование гидросиликатной добавки из жидкого стекла в присутствии диатомита способствует образованию низкоосновных гидросиликатов кальция, что способствует еще более полному связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ из известкового раствора [132].

Низкоосновные гидросиликаты кальция в составе известковых композиций можно получать и путем непосредственного добавления в состав

жидкого стекла. В таком случае гидросиликаты кальция, описываемые формулой $\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, получаются в результате реакции:



Уплотнение и упрочнение структуры происходит за счет склеивания и срастания между собой частиц низкоосновного гидросиликата кальция, кристаллов кальций-натриевого гидросиликата и кремнегеля [133].

Однако данный эффект наблюдается при введении извести в состав смеси в недостатке по отношению к жидкому стеклу, а именно 1-2%, а при содержании CaO более 3% образуется рыхлая структура, содержащая несвязанную смесь гидросиликатов кальция и закристаллизованного кремнегеля. В известковых растворах с достаточно высоким содержанием извести данный способ ускорения схватывания и увеличения прочности не может быть реализован.

Интересным и эффективным является решение, разработанное также под руководством профессора Логаниной В.И., о применении для модификации известковых композиций полисиликатного раствора, полученного смешиванием жидкого стекла и золя кремниевой кислоты [134].

1.4.2. Модифицирующие добавки для штукатурных растворов на основе извести

Совершенствование свойств сухих строительных смесей развивается в направлении создания и применения легкорастворимых химических добавок с широким спектром функционального назначения. К ним относятся эфиры целлюлозы, эфиры крахмала, суперпластификаторы, редиспергируемые полимерные порошки, компенсаторы усадки, порообразователи, модификаторы схватывания, загустители, диспергаторы, гидрофобизаторы, армирующие волокна, антивспениватели, модификаторы реологии. При этом внутри одной функциональной группы, может содержаться большое количество модификаций, отличающихся одним или более параметром,

разработанных для решения конкретных технологических или функциональных задач. В составе общестроительных сухих смесей, как правило, содержится от 3 до 5 функциональных добавок, а в смесях специального назначения и больше. В традиционных составах штукатурных сухих строительных смесей, как правило, применяются добавки: эфиры целлюлозы – в качестве водоудерживающей добавки и улучшения адгезии, эфиры крахмала – для снижения липкости к инструменту и повышения стойкости к сползанию, порообразователи или диспергаторы – для повышения эластичности и однородности раствора, снижения усадки. Для дополнительного регулирования свойств применяются гидрофобизаторы, армирующие волокна, редиспергируемые полимерные порошки, для гипсовых смесей обязательно вводится замедлитель схватывания [135, 136].

Выбор требуемых функциональных добавок зависит не только от назначения сухой строительной смеси, но и от вида применяемого вяжущего. Штукатурные смеси на основе известкового вяжущего по свойствам значительно отличаются от цементных и гипсовых, что обусловлено особенностями твердения извести. Такое важное свойство штукатурной смеси, как скорость твердения, для известковых растворов является слабым звеном. Добавки, применяемые для ускорения твердения цементных композиций абсолютно бесполезны для известковых. Кроме того, первоначальное схватывание штукатурного раствора на основе извести обусловлено испарением воды, поэтому ряд добавок, например, эфиры целлюлозы, которые обладают водоудерживающим эффектом, могут значительно замедлять этот процесс. Однако быстрое испарение воды может привести к трещинообразованию. Дополнительно эфиры целлюлозы придают раствору связность, увеличивают пластичность и удобообрабатываемость, увеличивают адгезию к основанию [137]. Поэтому, необходимо оценить целесообразность применения эфиров целлюлозы в известковых штукатурных смесях.

Эфиры крахмала вводятся в штукатурные и шпатлевочные смеси для уменьшения липкости, возникающей при высоком содержании в растворе эфиров целлюлозы. Так как содержание эфира целлюлозы в штукатурных смесях на основе извести ограничено, то их применение не требуется.

Другой особенностью известковых растворов является невысокая прочность, поэтому, необходим поиск путей ее увеличения. Для повышения прочности штукатурных растворов в них вводят активные минеральные добавки, дисперсно-армирующие добавки [138, 139] или полимерные компоненты, например, редиспергируемые полимерные порошки [140, 141].

Одним из достоинств известковых штукатурных смесей является их высокая биологическая стойкость, обусловленная их высокой щелочностью. Применение пуццолановых добавок приведет к снижению первоначального рН раствора, а, следовательно, уменьшению его биостойкости.

Поэтому нами в качестве способа увеличения прочности затвердевшего штукатурного раствора выбрано применение редиспергируемого полимерного порошка.

Увеличение прочности затвердевших растворов при введении в состав полимерных дисперсий обусловлено тем, что полимер заполняет поры и микродефекты, полимеризуясь, образует эластичные мостики и мембраны, воспринимающие внутренние растягивающие напряжения, тем самым укрепляя неорганический скелет [142, 143-147], одновременно достигается снижение капиллярного водопоглощения [148-151]. Также молекулы полимера проникают в структуру основания, чем обусловлено увеличение адгезионной прочности [46, 142, 152-155].

Одновременно может наблюдаться снижение паропроницаемости [148], что является важным показателем для штукатурных покрытий. Следовательно, необходимо найти требуемое соотношение минеральное/полимерное связующее, обеспечивающее требуемые характеристики штукатурного раствора.

Исследования, проведенные в Российском химико-технологическом университете им. Д.И. Менделеева, показывают, что свойства композиционных материалов с полимерными добавками в значительной степени зависят от равномерности распределения полимерного компонента в минеральной матрице. Равномерность распределения полимерного компонента зависит от степени дисперсности его частиц при растворении, а диспергируемость полимера сильно зависит от состава раствора, его ионной силы, рН среды. Автором показано, что наибольшая дисперсность полимерного компонента достигается в среде с высоким содержанием гидроксида кальция, что связано, очевидно, с его гидролизом в щелочной среде [149].

Другие исследования, проведенные в НИУ МГСУ [156], показывают, что присутствие в цементном растворе редиспергируемого полимера (РП) оказывает влияние на формирование гидратационной структуры, а именно на рост кристаллов этtringита. В присутствии РП формируется большее количество центров кристаллизации и мелковолокнистых или мелкоигльчатых кристаллов этtringитовой фазы, что сопровождается получением более высокой прочности композитов.

Редисперсионные порошки представлены на основе сополимеров, гомополимеров и терполимеров. Наличие в составе дисперсионных порошков этилена позволяет обойтись без добавления пластификаторов во время его производства. Исходными мономерами для дисперсионных порошков являются: винилацетат, винилхлорид, виниллаурат, винилверсатат, этилен, стирол, акрилат. Некоторые редисперсионные порошки модифицированы поливиниловым спиртом в качестве защитного коллоида. Они не содержат пластификаторов и хорошо редиспергируются [157]. Принято решение в диссертационной работе применять редиспергируемый полимерный порошок на основе сополимера винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты, имеющий в качестве защитного коллоида поливиниловый спирт производства российской компании «Полипласт».

Эфиры целлюлозы и ретиспергируемые полимерные порошки – это органические компоненты, которые могут создавать питательную среду для плесневых грибов. Поэтому требуется исследование их влияния не только на реологические характеристики штукатурной смеси и физико-механические характеристики затвердевшего раствора, но и на грибостойкость.

Долговечность штукатурного покрытия напрямую связана с его водопоглощением. С влагой вглубь материала проникают и различные агрессивные вещества, приводящие к его разрушению [158]. Степень проникновения влаги вглубь материала, при одностороннем контакте с ней определяется таким показателем, как капиллярное водопоглощение. Традиционно для снижения водопоглощения, в том числе и капиллярного применяются гидрофобизаторы [159]. Наиболее известными модифицирующими добавками среди водоотталкивающих материалов являются соли жирных кислот, например, стеараты и олеаты щелочных и щелочноземельных металлов. [160-162]. Значительное снижение проницаемости штукатурного раствора достигается также путем совместного применения ретиспергируемого полимерного порошка и проникающей композиции дегидрол [163].

Современные производители модифицирующих добавок для сухих строительных смесей предлагают также группу гидрофобизирующих добавок на силиконовой основе. Достаточного объема исследований влияния данных добавок на свойства растворов на основе извести нет, поэтому требует дополнительно исследования.

1.5. Микробиологическая стойкость штукатурных покрытий

На материалы в процессе их эксплуатации оказывается значительное количество различных воздействий. Одним из факторов, обеспечивающих долговечность строительных материалов и конструкций, является их биологическая стойкость. Под «биологической стойкостью» понимают

способность материала эксплуатироваться с допустимым уровнем потери начальных свойств или противостоять действию биологической коррозии.

Биологическая коррозия представляет собой разрушение материалов под действием микроорганизмов: бактерий, грибов, водорослей, мхов, лишайников, насекомых, высших растений и т.д. Их воздействию подвержены как органические, так минеральные материалы искусственного и природного происхождения [164].

Биологическая коррозия развивается при благоприятных для ее течения условиях: положительных температурах, особенно активно – при превышении 20 °С, и относительной влажности воздуха, превышающей 70 %. При этих условиях происходит распространение микроорганизмов, участвующих в деструкции строительных материалов. Кроме того, этому способствуют разнообразие видов, интенсивность генерации, резистентность к воздействиям окружающей среды и наличие сложной ферментационной системы [165].

Для различных частей зданий и сооружений характерны различные воздействия. В том числе и биологического характера. Для внутренних частей зданий при обычных условиях эксплуатации наиболее характерным биологическим фактором агрессивного воздействия является поражение материалов конструкций плесневыми грибами. Споры грибов находятся повсеместно в окружающем воздухе, оседают на поверхностях стен и мебели, накапливаются и при благоприятных для них температурно-влажностных условиях активно развиваются [166, 167].

К основным видам, осуществляющим вредоносное воздействие на материалы, относят грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Trichoderma*, реже – *Alternaria*, *Fusarium* [165-175].

Степень поражения материалов грибами и, наоборот, грибостойкость зависят от многих факторов. В первую очередь от состояния субстрата – питательной среды, на которой происходит заселение и развитие грибов [176].

Большое значение имеет влажность субстрата. Сначала происходит заселение менее требовательных к влажности видов, которые в процессе своей жизнедеятельности выделяют влагу, тем самым увеличивая влажность среды. Затем, как следствие, начинают развиваться виды, более требовательные к влажности (влаголюбивые) [165].

Таким образом, осуществляется преемственность заселения субстрата грибами. Сначала происходит заселение одними видами, которые создают условия другим. Это нужно учитывать при использовании биоцидных препаратов, основной целью которых должно быть воздействие на первично появляющиеся виды грибов. Без этих видов заселение и развитие последующих видов если не предотвратится, то будет, хотя бы, более сложным.

Далее степень поражения материала определяет приспособленность вида к составу субстрата. Основность среды в большой мере влияет на взаимодействие грибов и субстрата [168, 169]. Грибы преимущественно существуют и развиваются в кислотной среде. Высокоосновная среда не позволяет грибам заселяться и размножаться или снижает их вредоносное действие [176]. При снижении водородного показателя рН до 7-9, а в некоторых случаях до 11, фунгистатичность субстрата снижается и начинается его заселение видами, способными осуществлять свою жизнедеятельность в слабоосновной среде. В процессе жизнедеятельности грибы понижают рН среды, и начинают развиваться виды грибов, способных существовать в кислой среде. Низкой грибостойкостью обладают строительные композиты на основе вяжущих с рН поровой жидкости от 4 до 9 [170]. Наименьшую грибостойкость имеют строительные материалы на основе гипса, особенно с древесным наполнителем, и полиэфирный и эпоксидный полимербетон [168, 177-179]. Даже среди методов повышения грибостойкости гипсовых композитов можно выделить введение в их состав извести-пушонки, карбонатных шламов или получение гипсоцементно-пуццолановых вяжущих [180].

Композиции на основе портландцемента в начальные сроки (около 28 суток) обладают высокой грибостойкостью, которая снижается со временем вследствие уменьшения щелочности в результате старения [168].

Исследования [181] показывают, что сухие смеси на цементной основе не всегда обладают одинаковой биологической стойкостью, следовательно, на этот показатель оказывают влияние и другие компоненты состава, кроме вяжущего. Путем целенаправленного подбора состава цементных композитов с применением фунгицидных добавок удается создать бетоны и растворы с весьма высокой биологической стойкостью [182]. Не только фунгицидные добавки способны повысить грибостойкость цементных растворов, но и компоненты, способствующие формированию плотной и гидрофобной структуры, например, сочетание пластифицирующих добавок с техническим углеродом [183].

Высокой биостойкостью также обладают композиты на основе извести [184], при этом отмечается, что грибостойкость композитов при использовании в качестве вяжущего негашеной извести по сравнению с известью-пушонкой значительно выше [185].

Благоприятной питательной средой для грибов является целлюлоза [167,186, 187] и другие полимерные композиты [188-191], поэтому добавки на основе эфиров целлюлозы, редиспергируемых полимеров и др. [167] могут снижать грибостойкость штукатурных покрытий. Этим, вероятно, и объясняется более низкая грибостойкость вяжущих и бетонов, модифицированных химическими добавками [168, 169] по сравнению с чистыми вяжущими. Все это вызывает необходимость исследования влияния органических модифицирующих добавок на грибостойкость штукатурного раствора.

Третьим фактором, характеризующим негативное воздействие, является состав продуктов жизнедеятельности грибов, образующихся при их воздействии на материал. В ряде случаев большой вред представляют не сами грибы, а их метаболиты [192], приводящие к большим повреждениям,

чем непосредственно жизнедеятельность грибов. В состав продуктов метаболизма грибов могут входить кетоны, спирты, органические кислоты [172, 193-195], окислительно-восстановительные и гидролитические ферменты [175]. Состав метаболитов в большой мере характеризует агрессивность воздействия на материал. Например, грибы видов *Aspergillus* и *Trichoderma* наносят большие повреждения материалам, подверженным окислению. Это связано с тем, что эти виды выделяют оксиредуктазы – ферменты, служащие катализаторами окислительно-восстановительных реакций. В связи с этим весьма оправдано оценивать грибостойкость материалов не только по степени обрастания колонией грибов, но и по активности выделяемых ими веществ в процессе жизнедеятельности и их влиянию на свойства материала [176]. Однако отмечено, что вид вырабатываемых грибами ферментов может зависеть от материала, с которым он взаимодействует, точнее от питательной среды, которой материал обладает [165].

Далее можно отметить состояние окружающей среды, которое непосредственно влияет на состояние субстрата, о чем было сказано выше. Неудовлетворительная вентиляция помещений или полное ее отсутствие, ненормативные теплотехнические характеристики стен, протечки [167] и т.д. способствуют увеличению пригодности питательной среды для размножения грибов. В условиях недостаточной вентиляции происходит нарушение микроклимата помещений, выражающееся в увеличении влажности. Несоблюдение требований по тепловой защите зданий приводит в определенный период к конденсации влаги в ограждающих конструкциях. Конденсация происходит в порах материала конструкций, нарушая в них массообмен. Это приводит в ряде случаев не только к увеличению влажности материала и конструкции в целом, но и к росту относительной влажности помещения, а также вероятности образования конденсации на внутренних поверхностях стен. В итоге нарушение микроклимата помещения

увеличивает вероятность его поражения биологически активными агрессивными агентами, в том числе плесневыми грибами.

1.6. Выводы по главе 1

1. Современное строительное производство, как в частном домостроении, так и в многоэтажном, базируется на применении для оштукатуривания стен сухих строительных смесей.

2. Современные тенденции, направленные на повышения экологичности промышленных производств, и повышенный интерес потребителей не только к безопасности, но и к полезности применяемых строительных материалов привели к возврату к давно забытым технологиям применения известковых растворов для оштукатуривания стен. Это обусловлено тем, что штукатурные растворы на основе извести, во-первых, обладают высокой паропроницаемостью, что способствует регулированию микроклимата в помещениях, во-вторых, обладают высокой микробиологической стойкостью, особенно к плесневым грибам, которые являются причиной многих аллергических заболеваний.

3. На свойства штукатурной смеси и затвердевшего раствора в большой степени оказывает дисперсность гашеной извести. Получение штукатурного раствора на основе высокодисперсной извести возможно за счет применения в качестве основы для сухой штукатурной смеси известково-песчаной смеси заводов по производству силикатного кирпича, в которой содержится известь, за счет особенностей технологического процесса, обладающая наименьшим размером частиц.

4. Микробиологическая стойкость известковых штукатурных растворов объясняется высоким рН среды, поэтому при разработке состава необходимо сохранить данный показатель на высоком уровне, что исключает применение активных минеральных добавок для регулирования свойств сухой строительной смеси.

5. Основными добавками, необходимыми для регулирования свойств сухой штукатурной смеси на основе извести, являются эфиры целлюлозы, релаксифицируемые полимерные порошки и гидрофобизирующие добавки.

6. Эфиры целлюлозы улучшают реологические характеристики растворной смеси и повышают адгезионную прочность затвердевшего раствора, но, так как они обладают высокой водоудерживающей способностью, значительно замедляют скорость твердения раствора, особенно во влажных условиях окружающей среды. Следовательно, необходимо оценить целесообразность применения эфиров целлюлозы в составе сухой штукатурной смеси на основе извести.

7. Для повышения прочности при сжатии и изгибе, а также адгезионной прочности, в состав сухой штукатурной смеси целесообразно вводить релаксифицируемый полимерный порошок.

8. Важным параметром известковых штукатурных растворов является их биологическая стойкость, особенно грибовстойкость. Органические добавки типа эфиров целлюлозы и релаксифицируемых полимеров могут служить питательной средой для плесневых грибов, поэтому необходимо провести дополнительные исследования влияния данных добавок на грибовстойкость штукатурного покрытия.

9. Микробиологическая стойкость и долговечность штукатурного покрытия напрямую зависит от его проницаемости, определяемой гигроскопичностью и капиллярным водопоглощением. Поэтому необходимо исследовать возможность улучшения свойств штукатурного раствора путем применения гидрофобизирующих добавок.

ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ХАРАКТЕРИСТИКА СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1. Сырьевые материалы, применяемые в работе, и их характеристика

2.1.1. Известково-кремнеземистое вяжущее (ИКВ)

Известково-кремнеземистое вяжущее (ИКВ) представляет собой продукт совместного помола комовой негашеной воздушной извести и кварцевого песка в шаровых мельницах. ИКВ производят на предприятии ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (ООО «ВЗКГ»), г. Тюмень, и применяют для изготовления силикатного кирпича.

Соотношение извести и кварцевого песка в ИКВ рассчитывается исходя из исходной активности извести, для получения активности ИКВ 50-55%. Например, при средней активности извести 75%, ИКВ должно состоять из 70% извести и 30% песка, при этом активность ИКВ будет составлять 52,5%.

Известь, применяемая для производства ИКВ, имеет следующие характеристики:

- Активные CaO + MgO – 70-80% (3 сорт);
- Содержание MgO – не более 1%;
- Скорость гашения – 2-4 мин. (быстрогосящаяся);

ИКВ имеет следующие характеристики:

- истинная плотность – 2620-2760 кг/м³;
- активность – 50-55%;
- удельная поверхность – 500-600 м²/кг;
- удельная поверхность песка в вяжущем – 50-100 м²/кг.

2.1.2. Известково-песчаная смесь (ИПС)

Представляет собой смесь песка и гашеной извести – промежуточный материал, который применяют для формования силикатного кирпича на предприятии ООО «ВЗКГ».

Известково-песчаную смесь готовят следующим образом: песок и известково-кремнеземистое вяжущее смешивают с водой в двухвальном смесителе непрерывного действия. Дозировку песка и ИКВ задают исходя из активности ИКВ, для получения активности ИПС – 9-10%. Например, при активности ИКВ 52,5%, доля вяжущего в ИПС должна составлять 18%, при этом активность ИПС будет 9,5%. Затем ленточным транспортером полученную смесь подают в силос, где выдерживают в течение 1,5-2 часов до полного гашения извести. ИПС имеет следующие характеристики: активные CaO + MgO – 9-10%; влажность – 6-7%.

2.1.3. Песок

Для производства ИПС на предприятии ООО «ВЗКГ» применяют сухой песок карьера «Муллашовский». Характеристики песка представлены в таблице 2.1. Зерновой состав представлен в таблице 2.2.

Таблица 2.1 – Характеристики песка

Наименование показателя	Значение
Насыпная плотность, кг/м ³	1280-1320
Содержание ПГИ, %	1,0-3,0
Содержание глины в комках, %	-
Карьерная влажность, %	6,0-10,0
Модуль крупности	0,6-0,7
Содержание SiO ₂ , %	97-98

Таблица 2.2 – Зерновой состав песка

Остаток на сите	Ячейки сит, мм					Дно
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	
Частный, a_i , %	-	0-0,1	1-1,5	5-10	45-55	35-45

2.1.4. Известь-пушонка

Для определения влияния способа гашения извести на свойства ИПС применяли известь-пушонку производства компании «Брозэкс» (г. Екатеринбург).

Известь-пушонка имеет следующие характеристики:

- истинная плотность – 2620-2760 кг/м³;
- активность – 52 %;
- удельная поверхность – 450 м²/кг.

2.1.5. Добавки для ССС

Добавка «Полипласт РП 1011» представляет собой редуспергируемый в воде полимерный порошок на основе сополимера винилацетата и винилового эфира версатиковой кислоты. Защитным коллоидом является поливиниловый спирт. Характеристики представлены в таблице 2.3.

В качестве загущающей и водоудерживающей добавки применялся эфир целлюлозы Headcel НРК100М (производство Китай): водорастворимая немодифицированная гидроксипропилметилцеллюлоза. Добавка также способствует повышению адгезии штукатурного раствора к основанию, уменьшает усадку и трещинообразование. Характеристики добавки представлены в таблице 2.4.

Таблица 2.3 – Характеристики редиспергируемого полимерного порошка

№ п/п	Показатель	Значение
1	Внешний вид	Порошок от белого до слегка бежевого цвета
2	Рекомендуемая дозировка, % от массы вяжущего	0,5-5
3	Насыпная плотность, кг/м ³	400-550
4	Зольность, %, при 950 °С	11±2
5	рН	7-10 (10 % дисперсия в воде)
6	Влажность, %, не более	2,5
7	Остаток на сите 630 мкм, %, не более	0,5

Таблица 2.4 – Характеристики эфира целлюлозы

№ п/п	Показатель	Значение
1	Химическая формула	$[C_6H_7O_2(OH)_x (OCH_3)_y(OCH_2CHONCH_3)]_n$
2	Внешний вид	Порошок от белого до слегка бежевого цвета
3	Рекомендуемая дозировка, % от массы вяжущего	0,05-0,5
4	Насыпная плотность, кг/м ³	450-550
5	Зольность, %	1
6	Вязкость, МПа·с (2%-ый водный раствор, 20°С)	40000-50000
7	Влажность, %, не более	6

В исследованиях применялись кремнийорганические гидрофобизаторы Silres® BS Powder A и Silres® BS Powder D (производитель – Wacker Chemie AG, Германия) и стеарат кальция.

Silres® BS Powder A и Silres® BS Powder D представляют собой высокоэффективные кремнийорганические соединения. Модификация D дополнительно содержит мелкий минеральный наполнитель в качестве антиадгезивной добавки. Характеристики стеарата кальция и кремнийорганических гидрофобизаторов представлены в таблицах 2.5 и 2.6, соответственно.

Таблица 2.5 – Характеристики стеарата кальция

№ п/п	Показатель	Значение
1	Внешний вид	Порошок белого цвета
2	Рекомендуемая дозировка, % от массы вяжущего	0,2-1
3	Насыпная плотность, кг/м ³	250
4	Содержание свободных жирных кислот, %, не более	1
5	Влажность (3 часа при 105 °С), %, не более	3
6	Температура плавления, °С	около 160

Таблица 2.6 – Характеристики кремнийорганических гидрофобизаторов

№ п/п	Показатель	Значение	
		Silres® BS Powder A	Silres® BS Powder D
1	Внешний вид	белый порошок	слегка бежевый порошок
2	Рекомендуемая дозировка, % от массы вяжущего	0,1-0,5	
3	Насыпная плотность, кг/м ³	500	220-340
4	Влажность, %, не более	3	
5	Содержание активного компонента, %	50	
6	Стабилизирующая добавка	-	поливиниловый спирт

2.2. Методы исследования

2.2.1. Метод изучения дисперсного состава известково-песчаной смеси

Для исследования дисперсного состава [196] известково-песчаных смесей применялся лазерный анализатор размера частиц Fritsch Analysette 22 NanoТес (рис. 2.1). Прибор позволяет получать информацию о распределении частиц по размерам в форме аналитических выражений и в графическом виде: интегральных и дифференциальных кривых, а также о среднем размере частиц.



Рис. 2.1. Лазерный анализатор размера частиц

В диссертационном исследовании данный метод применяли для оценки содержания наиболее дисперсных частиц в различных смесях песка с известью. Для исключения растворения частиц извести в водной среде, в качестве среды диспергирования при измерении использовался этиловый спирт.

2.2.2. Метод определения удельной поверхности

Для определения удельной поверхности сырьевых компонентов, таких как известково-кремнеземистое вяжущее и известь-пушонка, применяли прибор ПСХ-11 (рис. 2.2). Принцип работы прибора основан на методе газопроницаемости Козени и Кармана [197, 198].



Рис. 2.2. Прибор для определения удельной поверхности ПСХ-11

Для проведения измерения необходимо знать истинную плотность исследуемого порошка, которую определяли с помощью прибора Лешателье с применением этилового спирта.

2.2.3. Определение адгезионной прочности

Прочность сцепления штукатурного покрытия с основанием (адгезию) определяли по ГОСТ 58277-2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний».

Штукатурный раствор подвижностью П_{к3} наносили на бетонное основание с помощью трафарета с размером отверстий 50x50 мм, глубиной 10 мм. В возрасте 28 суток осуществляли отрыв стальных пластинок, приклеенных к поверхности растворных образцов, с помощью измерителя адгезии ПСО-МГ4 (рис. 2.3).

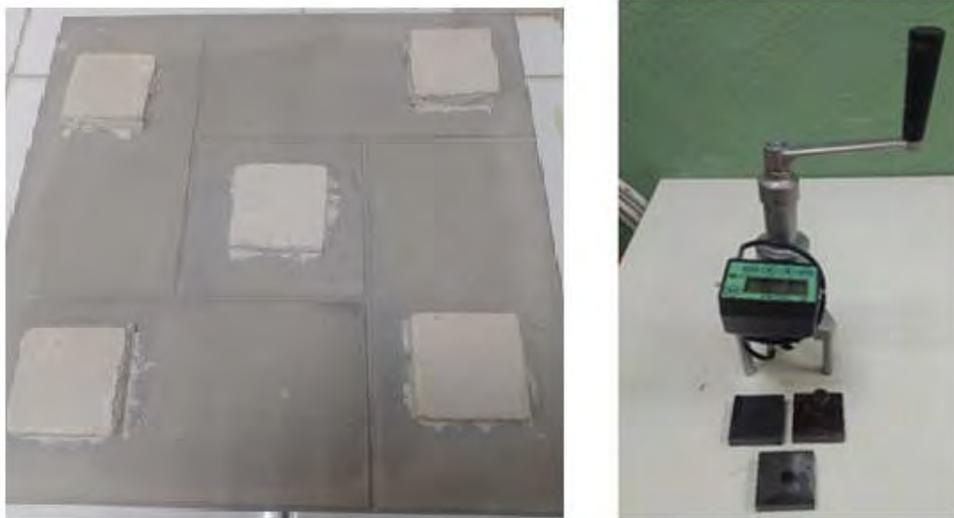


Рис. 2.3. Образцы и прибор для определения адгезии штукатурного покрытия

2.2.4. Определение пределов прочности

Предел прочности при изгибе затвердевшего раствора определяли на образцах призмах размером 40×40×160 мм (рис. 2.4-а) по ГОСТ Р 58277-2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы

испытаний», предел прочности на сжатие – на образцах кубах с размером ребра 70,7 мм (рис. 2.4-б) по ГОСТ 5802-86 «Растворы строительные. Методы испытаний».



Рис. 2.4. Образцы для определения прочности: а) при изгибе, б) при сжатии

Контрольные образцы изготавливали из растворной смеси подвижностью $P_{к3}$ (8-12 см) в формах без дна. Через 2 суток образцы извлекали из форм и хранили до 28 суток в воздушно-сухих условиях.

Разрушающую нагрузку определяли на ручном гидравлическом прессе ПРГ-50 (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Пресс для испытания образцов

2.2.5. Определение капиллярного водопоглощения

Капиллярное водопоглощение W_k определяли по объему воды, поглощенной образцом, высушенным до постоянной массы, при атмосферном давлении за счет капиллярных или адсорбционных сил по ГОСТ Р 58277-2018 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний».

Образцы-балочки, размером $40 \times 40 \times 160$ мм изготавливались из растворной смеси с подвижностью $P_{к3}$ и хранились при температуре (20 ± 2) °С 2 суток в формах, затем 26 суток при влажности 60 ± 10 %.

Далее образцы разламывали на две половинки, длиной 80 мм, одну из торцевых граней зачищали щеткой, и этой гранью погружали в воду с температурой (20 ± 5) °С на глубину 5-10 мм.

Уровень воды в ванне поддерживали постоянным в течение всего времени испытания (рис. 2.6).

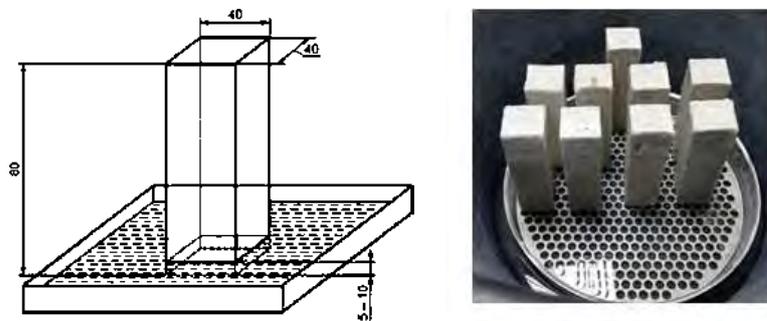


Рис. 2.6. Схема испытания по определению капиллярного водопоглощения

Первое взвешивание образцов выполняется через 10 мин. (m_1), повторное через 90 мин. (m_2).

Капиллярное водопоглощение, W_k кг/ $(м^2 \cdot ч^{0,5})$, определяли по формуле:

$$W_k = K(m_1 - m_2), \quad (2.1)$$

где K – коэффициент капиллярного водопоглощения, вычисляемый по ф-ле:

$$K = 1/(S\sqrt{t}) \quad (2.2)$$

где S – площадь торцевой грани в м^2 ; t – время проведения эксперимента в мин. (80 мин.),
и равный $K=63,93, 1/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{0,5})$.

2.2.6. Методика определения паропроницаемости

Паропроницаемость штукатурных покрытий определяли в соответствии с ГОСТ 25898-2020 «Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию» по методу «мокрой чашки».

Образцы штукатурных покрытий круглого сечения (рис. 2.7), с диаметром 100 мм, толщиной 10 мм изготавливали из штукатурных растворов, подвижностью $P_{к3}$ (8 см), приготовленных из сухих штукатурных смесей. Образцы твердели в естественных условиях в течение 28 суток, после чего их закрепляли на испытательном сосуде с помощью прозрачного силиконового герметика (рис. 2.8). Боковую грань образца также покрывали герметиком. Расстояние между поверхностью образца и поверхностью воды в сосуде составляло 15-20 мм.

Испытательные сосуды с образцами помещались в климатическую камеру Vötsch VC 7018 (рис. 2.9), в которой поддерживалась температура 20 °С и относительная влажность 50%.



Рис. 2.7. Образцы штукатурных покрытий



Рис. 2.8. Испытательные сосуды с образцами



Рис. 2.9. Климатическая камера Vötsch VC 7018

Через определенные интервалы времени производили взвешивание образцов до установления стационарного потока водяного пара через образец, на основании которого рассчитывают паропроницаемость материала.

2.2.7. Сканирующая электронная микроскопия

Для изучения размера частиц сырьевых компонентов и структуры затвердевших растворов применялась растровая электронная микроскопия. Полученные с помощью электронного сканирующего микроскопа высокого разрешения TESCAN MIRA3 микрофотографии с различной степенью увеличения изучались и описывались с учетом общеизвестных данных.

2.2.8. Дифференциально-термический анализ

Дифференциально-термический анализ (ДТА) проводили по стандартной методике на синхронном термоанализаторе Netzsch STA 409. Анализ полученных графиков проводили по данным [199].

Основной целью проведения дифференциально-термического анализа являлось количественное определение содержания гидроксида кальция и карбоната кальция, так как данные соединения являются определяющими свойствами и кинетику твердения штукатурного раствора на основе воздушной извести.

Эндотермический эффект разложения гидроксида кальция приходится на температуру 585 °С, положение которого зависит от размера частиц. Эндотермический эффект, соответствующий разложению карбоната кальция, находится в диапазоне температур от 860 до 1010 °С. На температуру пика и его площадь существенное влияние оказывает размер кристаллов, степень их кристалличности и плотность упаковки. В [199] описана температура разложения природного кальцита, CaCO_3 в цементном

камне и в силикатных материалах имеет кристаллы значительно меньшие по размеру, что приводит к смещению пика в сторону более низких температур на 100 °С.

2.2.9. Рентгенофазовый анализ

Для исследования фазового состава штукатурных смесей применяли рентгенофазовый анализ. Съемку рентгенограмм производили на аппарате ДРОН-3. Параметры съемки: начальный угол – 5,00°; конечный угол – 70,00°; шаг – 0,01°. Предварительную расшифровку осуществляли с применением программы PdWin (разработчик НПП «Буревестник») с идентификацией минералов по картотеке ASTM, затем уточняли по данным [199].

По данным РФА также определяли размер кристаллитов минералов.

Размер кристаллитов может быть оценен по величине физического уширения пика, соответствующего данному соединению на дифрактограмме.

Размер кристаллита по направлению h-k-l можно определить по формуле Шеррера-Селякова [200]:

$$D_{hkl} = \frac{n \cdot \lambda}{\beta \cdot \cos \theta}, \quad (2.3)$$

где: D – размер кристаллита по направлению h-k-l, мкм; λ – длина волны излучения, мкм; θ – угол рассеяния; β – физическое уширение линии на дифрактограмме в радианах (в шкале 2θ).

2.2.10. Методика определения грибостойкости

Грибостойкость штукатурных растворов определяли путем заражения образцов спорами грибов, выдерживания в определенных температурно-влажностных условиях и оценки степени развития колоний грибов.

Исследуемые образцы раствора представляли собой пластинки размером 50×50 мм, толщиной 10 мм (рис. 2.10), изготовленные из штукатурной смеси подвижностью П_{к3} и выдержанные до испытания 28 суток в воздушно-сухих условиях.

Суспензии спор грибов *Paecilomyces elegans* VKM F-1329, *Aspergillus niger* RCAM 02334, *Cladosporium herbarum* VKM F-235, *Verticillium nigrescens* VKM F-2693, *Penicillium chrysogenum* RCAM 00888 готовили отдельно по каждому виду до достижения концентрации 10⁵ спор/мл, затем смешивали в равных пропорциях (рис. 2.11).



Рис. 2.10. Образцы штукатурных растворов для исследования
грибостойкости

По 10 образцов каждого варианта на 5 секунд (время для смачивания и попадания суспензии в толщу образцов) погружали в суспензию спор плесневых грибов. Обработанные суспензией образцы помещали во влажную стеклянную камеру, закрывали пленкой и помещали в термостат с температурой 30 °С. Для обеспечения влажности в камере размещали стерильные чашки Петри с дистиллированной стерильной водой.



Рис. 2.11. Приготовление суспензий спор грибов

По 10 образцов каждого варианта погружали на 5 секунд в стерильную водопроводную воду и далее хранили аналогично зараженным образцам. Оставшиеся образцы хранили при комнатной температуре и влажности 40-50%.

Через каждые 7 суток осуществляли визуальную оценку обрастания образцов колониями грибов. Через 28 суток проводили исследование соскобов штукатурных составов на наличие спор грибов (рис. 2.12). Для этого делали несколько соскобов с каждой стороны образца, потом пробу усредняли, брали примерно 1 г, размешивали в 9 мл стерильной воды и высевали на питательную среду. Далее производили термостатирование.



Рис. 2.12. Исследование соскобов штукатурных составов на наличие спор грибов

Если грибы есть, они образуют колонии на питательной среде. Колонии считают и рассчитывают количество спор на 1 г раствора. Если через неделю культивирования колоний нет, считают, что их нет в материале.

Далее штукатурные растворы хранили в термокамере до визуального появления колоний грибов на поверхности образцов.

Так как в течение длительного времени визуального роста грибов не наблюдалось, для ускорения процесса их развития фрагменты зараженных образцов были помещены непосредственно в питательную среду.

В качестве питательной среды использовали YpSS (таблица 2.7), приготовленный на водопроводной воде.

Таблица 2.7– Состав питательной среды

Наименование компонента	Содержание на 1л, г
Дрожжевой экстракт	4
Агар-агар	12,5
Крахмал	15
KH_2PO_4	1
$MgSO_4$	0,5

Микроскопические исследования структуры штукатурных покрытий на предмет наличия спор и мицелия грибов проводили с помощью микроскопа Микмед-6 (рис. 2.13). Это клинический лабораторный микроскоп, предназначенный для исследования объектов в проходящем свете с освещением по методу светового поля. Степень увеличения микроскопа составляет от 40 до 1000 крат.



Рис. 2.13. Клинический лабораторный микроскоп Микмед-6

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА СОСТАВА СУХОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ НА ОСНОВЕ ВОЗДУШНОЙ ИЗВЕСТИ

3.1. Влияние способа гашения воздушной извести на дисперсность $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Основная гипотеза состоит в том, что при гашении тонкомолотой извести в смеси с песком в силосе или реакторе, достигается высокая дисперсность $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Данный способ гашения реализуется на заводах по производству силикатного кирпича при подготовке известково-песчаной смеси. Известь в ИПС вводится в составе ИКВ, которое получают путем совместного помола комовой негашеной извести с песком в шаровых мельницах. При этом частицы негашеной извести в ИКВ мельче, чем частицы гидратной извести в пушонке. Для подтверждения данной гипотезы было проведено исследование дисперсного состава ИКВ (рис. 3.1). и извести-пушонки (рис. 3.2.) на лазерном анализаторе частиц. Затем было осуществлено вытравливание извести из ИКВ с помощью соляной кислоты и исследован дисперсный состав песка, представленный на рис. 3.2.

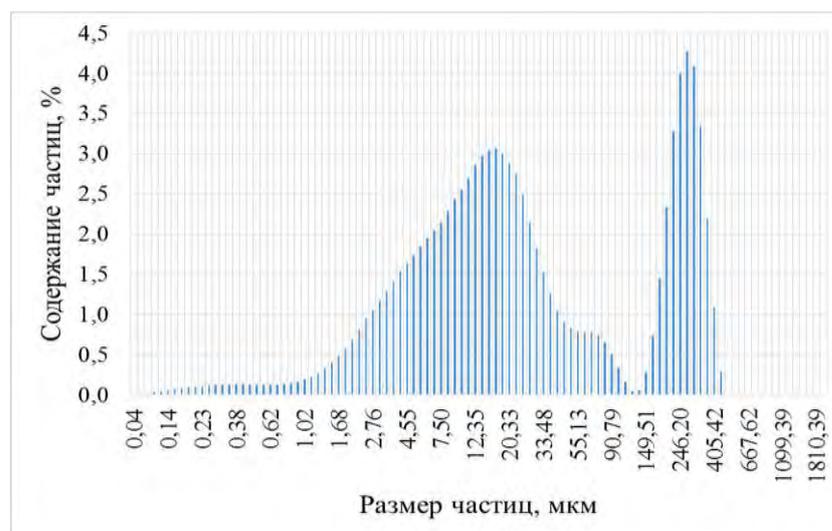


Рис. 3.1. Дисперсный состав ИКВ

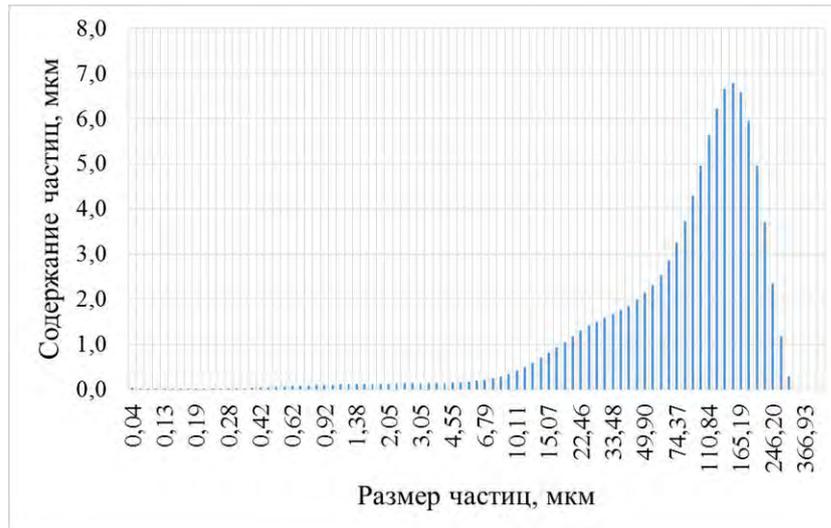


Рис. 3.2. Дисперсный состав песка из ИКВ

График распределения частиц по размерам в ИКВ можно условно разделить на три области, от 0 до 30 мкм и от 30 до 100 мкм и от 100 до 400 мкм. Анализируя дисперсный состав песка из ИКВ можно сделать вывод, что частицы размером более 30 мкм полностью представлены зернами кварцевого песка, а в диапазоне от 15 до 30 мкм присутствуют как частицы тонкомолотого кварцевого песка, так и частицы молотой негашеной извести. Частицы размером менее 15 мкм практически полностью представлены молотой негашеной известью. Средний размер частиц извести пушонки (рис. 3.3.) составляет 30 мкм.

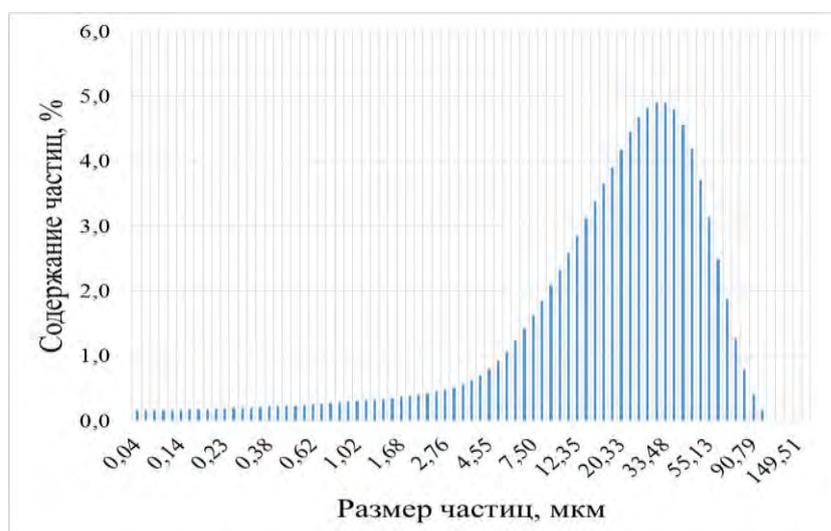


Рис. 3.3. Дисперсный состав извести-пушонки

Для определения дисперсности гидратной извести в составе ИПС, необходимо ее отделить от частиц песка, что не представляется возможным. Поэтому, оценка дисперсности извести в составе ИПС была проведена в сравнении с дисперсным составом известково-песчаной смеси на основе извести-пушонки. Результаты измерения дисперсного состава двух проб (рис. 3.4) подтверждают наличие в составе ИПС частиц размером менее 7 мкм, и их отсутствие в составе известково-песчаной смеси на основе извести-пушонки.

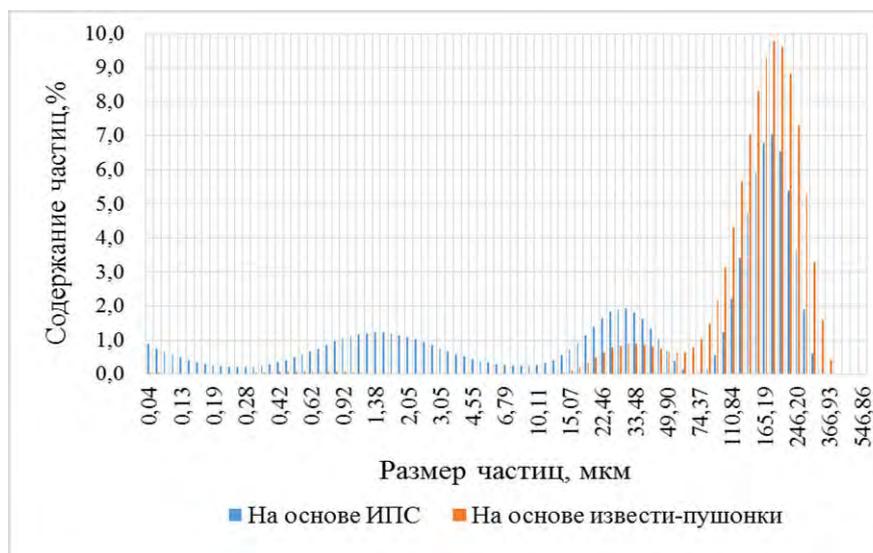


Рис. 3.4. Дисперсный состав известково-песчаных смесей

Частицы размером от 15 до 50 мкм в ИПС представлены тонкомолотым кварцевым песком, а в составе известково-песчаной смеси на основе извести-пушонки частицами $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Следовательно, частицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составе ИПС имеют средний размер 1,5 мкм.

Результаты микроскопического исследования извести-пушонки представленные на рис. 3.5. подтверждают, что частицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в ее составе имеют размер от 4 до 100 мкм. В ИПС зерна песка покрыты частицами $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с размером менее 7 мкм (рис. 3.6.).

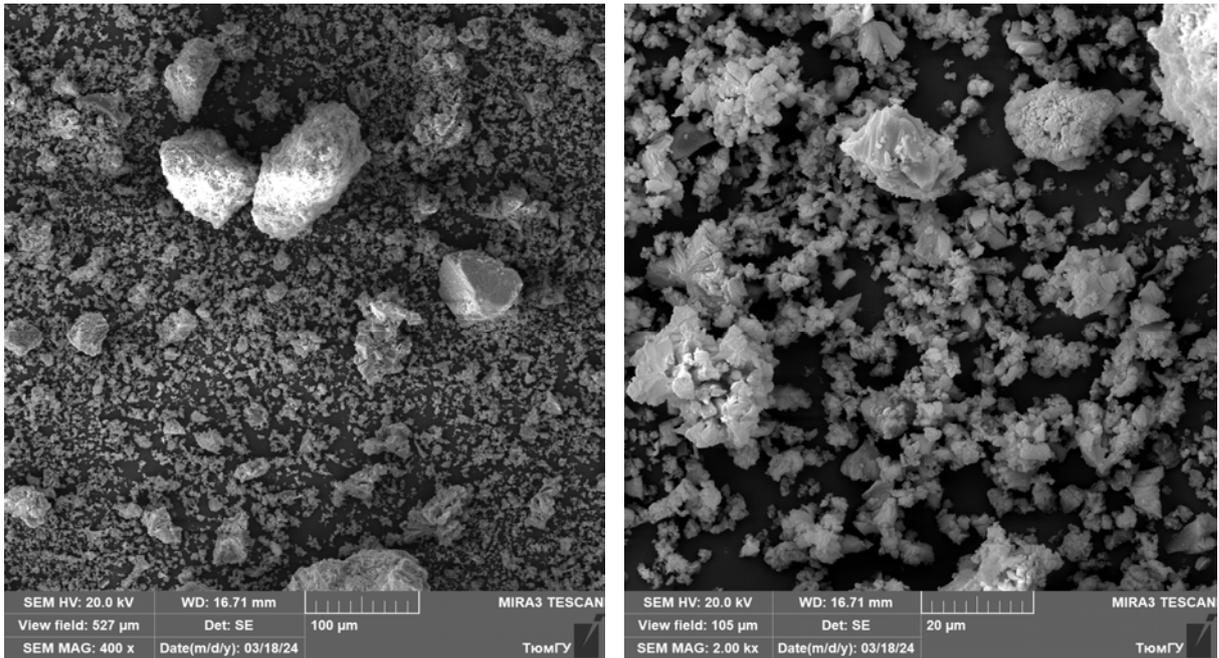


Рис. 3.5. Микрофотография частиц извести-пушонки

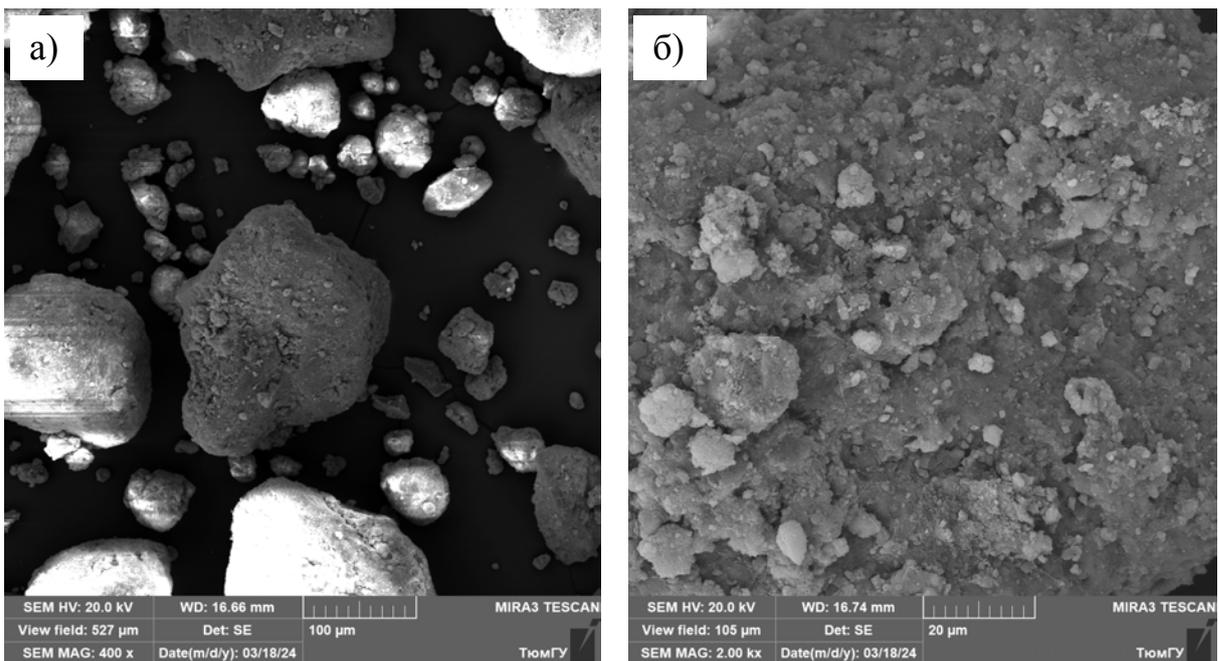


Рис. 3.6. Микрофотография ИПС

а) зерна песка, покрытые частицами $\text{Ca}(\text{OH})_2$; б) поверхность зерна песка с частицами $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на поверхности

3.2. Процессы твердения и структурообразования в штукатурном растворе на основе воздушной извести

Твердение известково-песчаного раствора на начальном этапе обусловлено сближением частиц за счет испарения влаги и силами межмолекулярного взаимодействия, а в последующем – карбонизацией извести [201, 202]. Наличие в ИПС тонкомолотого песка в составе известково-кремнеземистого вяжущего позволяет предположить возможное гидросиликатное твердение раствора.

Для изучения процессов, происходящих в штукатурном растворе в процессе твердения, на стену из силикатного кирпича было нанесено штукатурное покрытие на основе ИПС толщиной 0,01 м. Через 3, 7, 28 суток и 2 года отбиралась проба раствора для проведения рентгенофазового и дифференциально-термического анализа.

Однако, результаты рентгенофазового анализа затвердевшего штукатурного раствора (рис. 3.7 и 3.8), не подтвердили наличие в его составе гидросиликатов кальция. Состав штукатурного раствора в основном представлен кварцем ($d=4,24; 3,38; 2,47; 2,29; 2,24; 2,13; 1,98; 1,82; 1,67; 1,54; 1,45; 1,38; 1,37$), порتلандитом ($d=4,98; 2,63; 1,93; 1,79$), различными модификациями CaCO_3 : кальцитом ($d=3,06; 2,29; 1,92; 1,88; 1,61$) и арагонитом ($d=3,06; 2,48; 1,97; 1,82; 1,54$).

В образце штукатурного раствора в возрасте двух лет полностью отсутствует Ca(OH)_2 , тогда как в 28 суток он диагностируется. В составе раствора в возрасте двух лет интенсивность пиков, соответствующих кальциту увеличивается по сравнению с составом раствора в 28 суток.

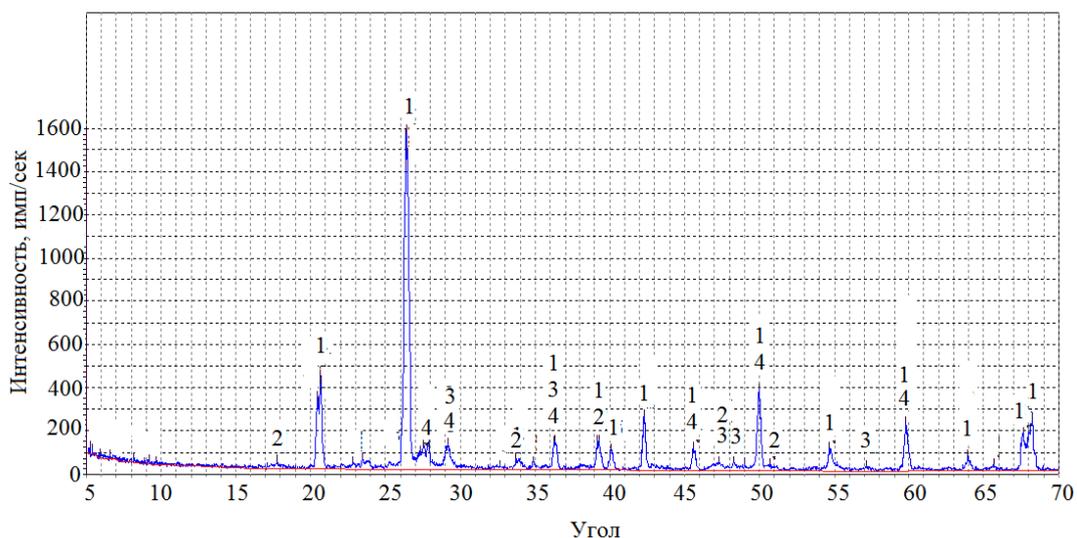


Рис. 3.7. Рентгенограмма штукатурного раствора на основе известково-песчаной смеси в возрасте 28 суток: 1 – кварц SiO_2 ; 2 – портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 3 – кальцит CaCO_3 ; 4 – арагонит

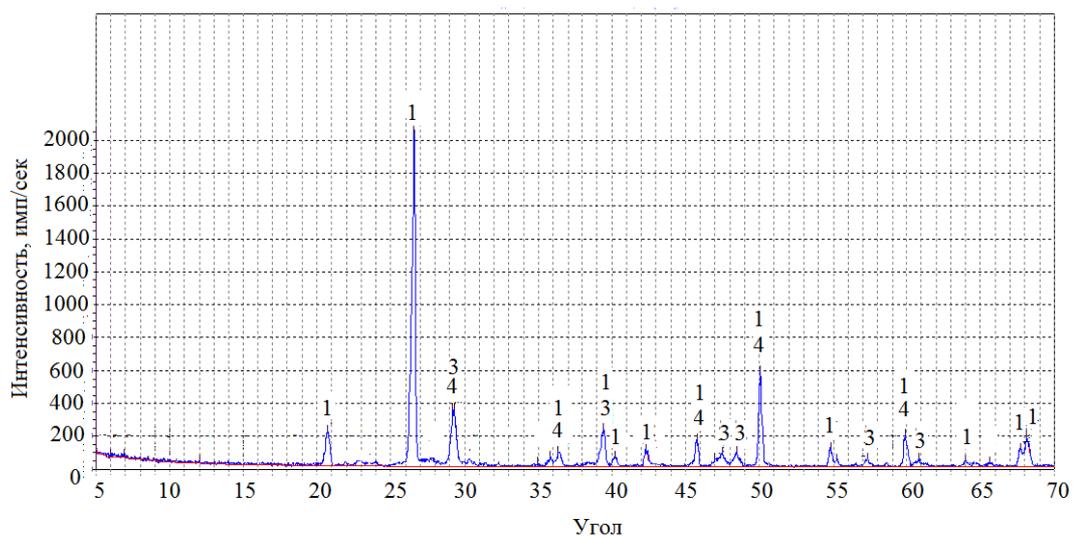


Рис. 3.8. Рентгенограмма штукатурного раствора на основе известково-песчаной смеси в возрасте 2 года: 1 – кварц SiO_2 ; 2 – портландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$; 3 – кальцит CaCO_3 ; 4 – арагонит

Количественная оценка динамики карбонизации портландита осуществлялась на основании дифференциально-термического анализа, результаты которого представлены на рис. 3.9-3.12, таблицы 3.1 и 3.2. Установлено, что в трое суток содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ соответствует

первоначальной активности смеси, т.е. карбонизация не происходит, что объясняется высоким водосодержанием раствора. Наличие CaCO_3 обусловлено присутствием недожога в исходной негашеной извести. Но, уже к семи суткам связывается 52% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, а к 28 суткам это количество увеличивается до 77%. В два года в образце штукатурного раствора свободный $\text{Ca}(\text{OH})_2$ полностью отсутствует.

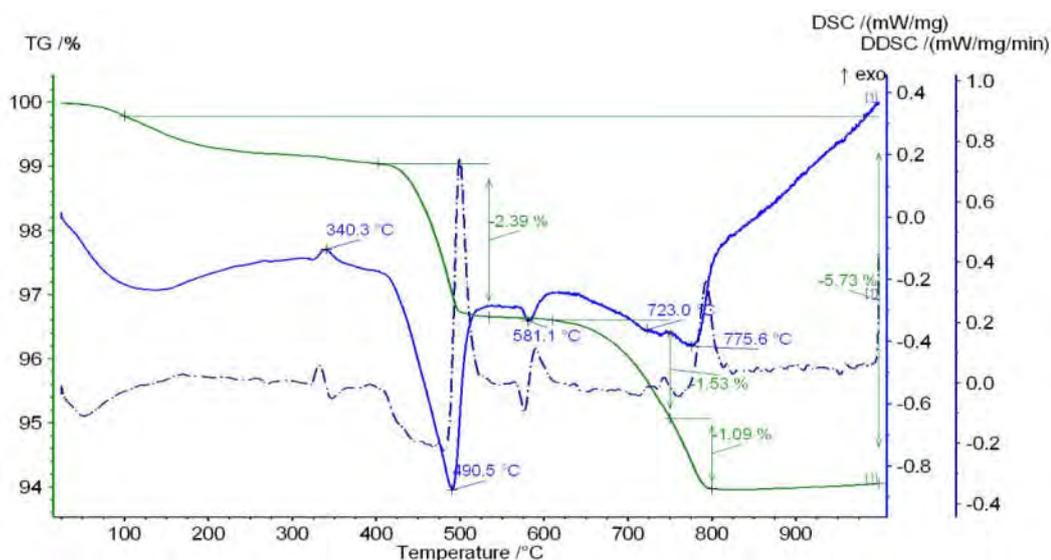


Рис. 3.9. Кривая дифференциально-термического анализа штукатурного раствора в возрасте трех суток

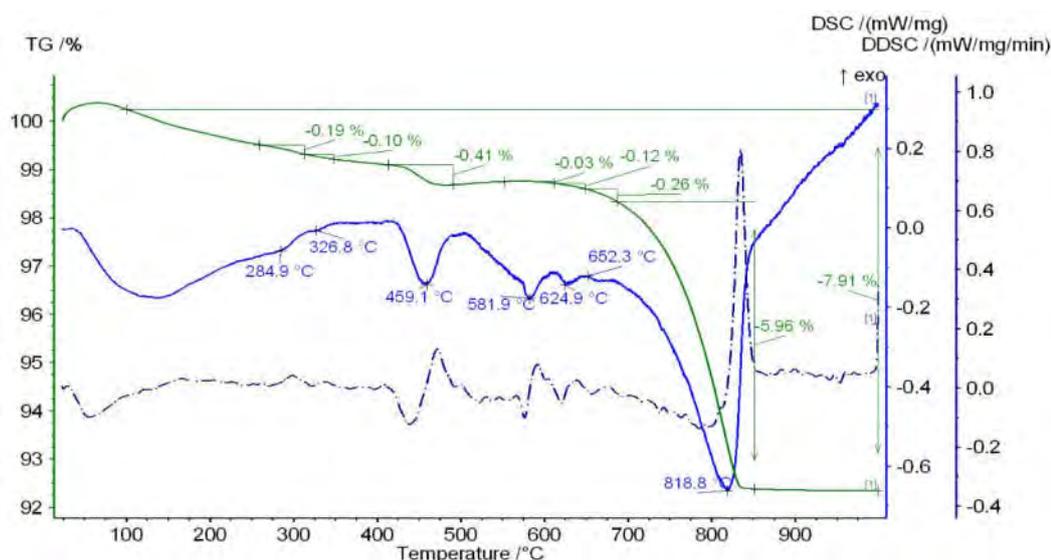


Рис. 3.10. Кривая дифференциально-термического анализа штукатурного раствора в возрасте семи суток

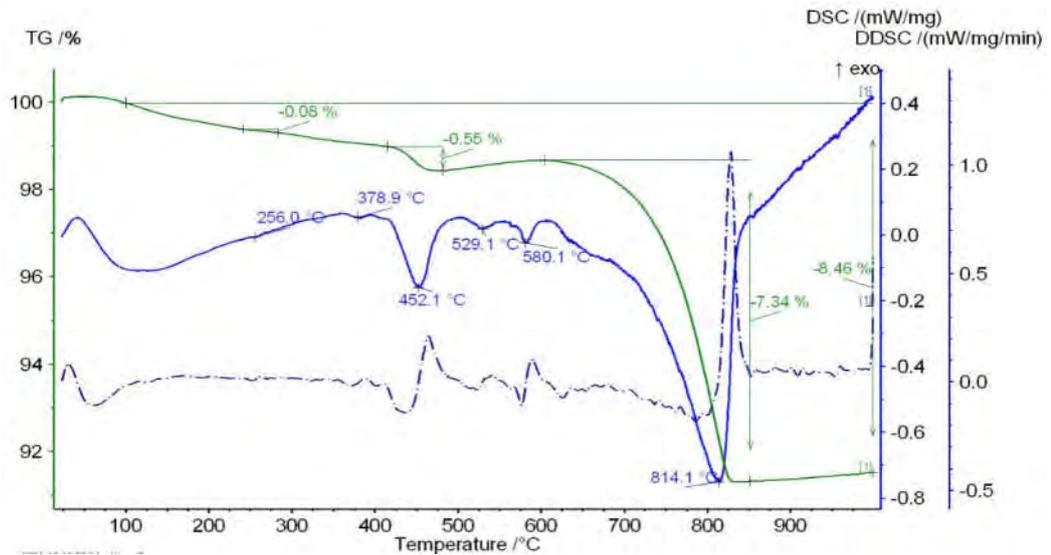


Рис. 3.11. Кривая дифференциально-термического анализа штукатурного раствора в возрасте 28 суток

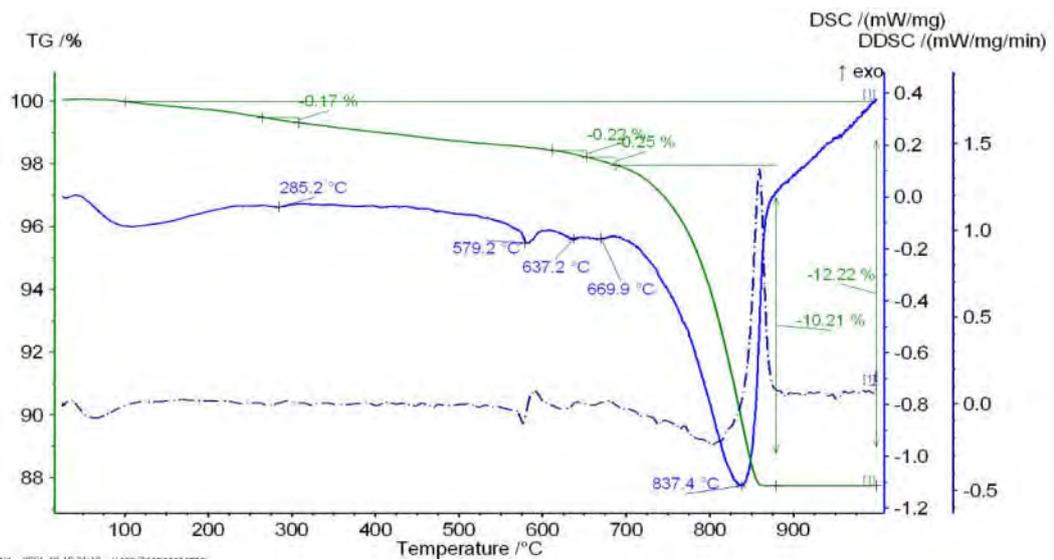


Рис. 3.12. Кривая дифференциально-термического анализа штукатурного раствора в возрасте двух лет

Таблица 3.1 – Изменение массы и энергии образцов известкового штукатурного раствора различного возраста при испытании на ДТА

t, °C	Характер эффекта	Процесс, вызывающий эффект	Изменение массы, %, для образца в возрасте			
			3 сут.	7 сут.	28 сут.	2 года
430-480	Эндотермический	Дегидратация гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	2,39	1,23	0,55	0
600-760	Эндотермический	Диссоциация первичного CaCO_3 (арагонита) на CaO и CO_2	1,53	2,11	2,44	1,75
760-850	Эндотермический	Диссоциация вторичного CaCO_3 (кальцита) на CaO и CO_2	1,09	3,15	4,89	8,46

Таблица 3.2 – Содержание гидроксида кальция и карбоната кальция в образцах штукатурного раствора различного возраста

Возраст раствора	Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$, %	Содержание CaCO_3 (вторичный), %
3 сут.	9,8	2,5
7 сут.	5,1	7,2
28 сут.	2,3	11,1
2 года	0	19,3

Сравнительный анализ степени карбонизации штукатурных растворов на основе ИПС и на основе извести-пушонки в возрасте 28 суток, проведенный на основании дифференциально-термического анализа (рис. 3.13. и 3.14., таблицы 3.3 и 3.4), свидетельствует о том, что содержание

вторичного карбоната кальция в растворе на основе ИПС составляет – 13,1 %, что в 4,7 раза больше, чем в штукатурном растворе на основе извести-пушонки.

Несмотря на то, что образцы находились в одинаковых условиях, степень их карбонизации значительно отличается. Это еще раз подтверждает, что кроме влажности, температуры и содержания CO_2 , на протекание реакции карбонизации оказывает влияние дисперсность извести [203], и влияние это весьма значительное.

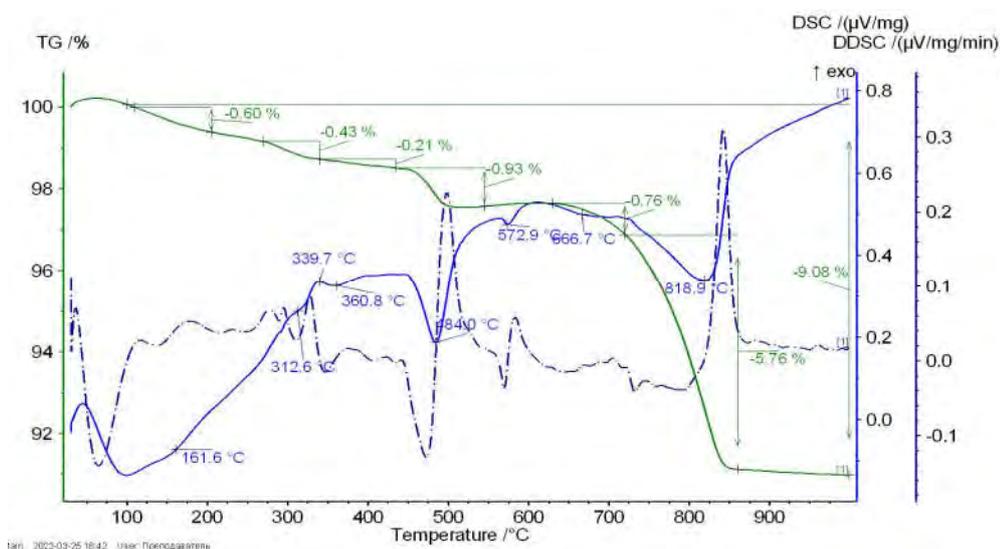


Рис. 3.13. Кривые ДТА штукатурного раствора на основе ИПС

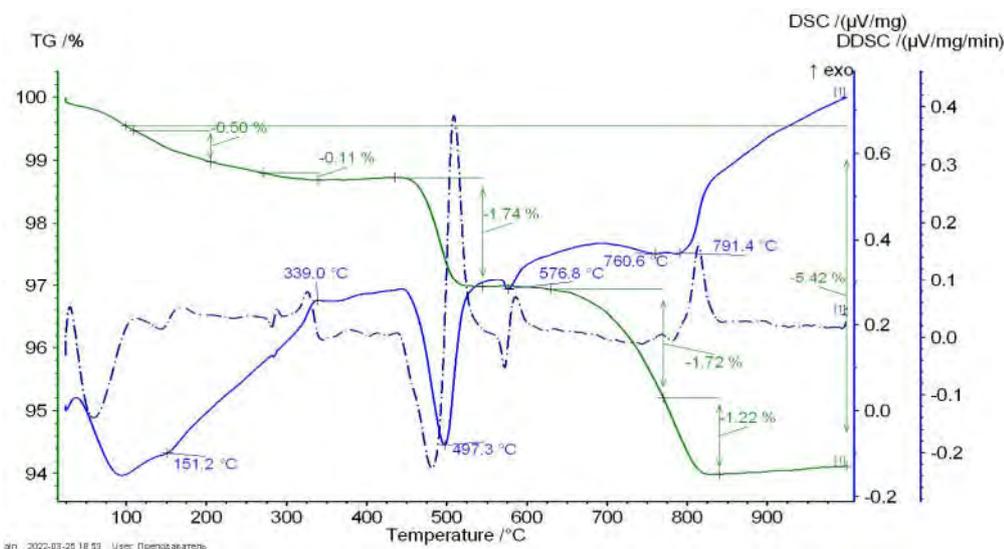


Рис. 3.14. Кривые ДТА штукатурного раствора на основе извести-пушонки

Таблица 3.3 – Изменение массы и энергии образцов штукатурного раствора при дифференциально-термическом анализе

t, °С	Характер эффекта	Процесс, вызывающий эффект	Изменение массы, %, для образца	
			на основе ИПС	на основе извести-пушонки
430-480	Эндотермический	Дегидратация гидроксида кальция $\text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaO} + \text{H}_2\text{O}$	0,93	1,74
600-760	Эндотермический	Диссоциация первичного CaCO_3 (арагонита) на CaO и CO_2	0,76	1,72
760-850	Эндотермический	Диссоциация вторичного CaCO_3 (кальцита) на CaO и CO_2	5,76	1,22

Таблица 3.4 – Содержание гидроксида кальция и карбоната кальция в образцах

Вид штукатурного раствора	Содержание Ca(OH)_2 , %	Содержание CaCO_3 , %	
		первичный	вторичный
на основе ИПС	3,8	1,7	13,1
на основе извести-пушонки	7,2	3,9	2,8

Дисперсность извести оказывает влияние не только на степень карбонизации, но и на величину образующихся кристаллитов CaCO_3 [203]. Размер кристаллитов CaCO_3 в штукатурных растворах оценивался по величине уширения пика, соответствующего данному соединению на дифрактограмме (рис. 3.15. и 3.16.), с помощью уравнения (2.3).

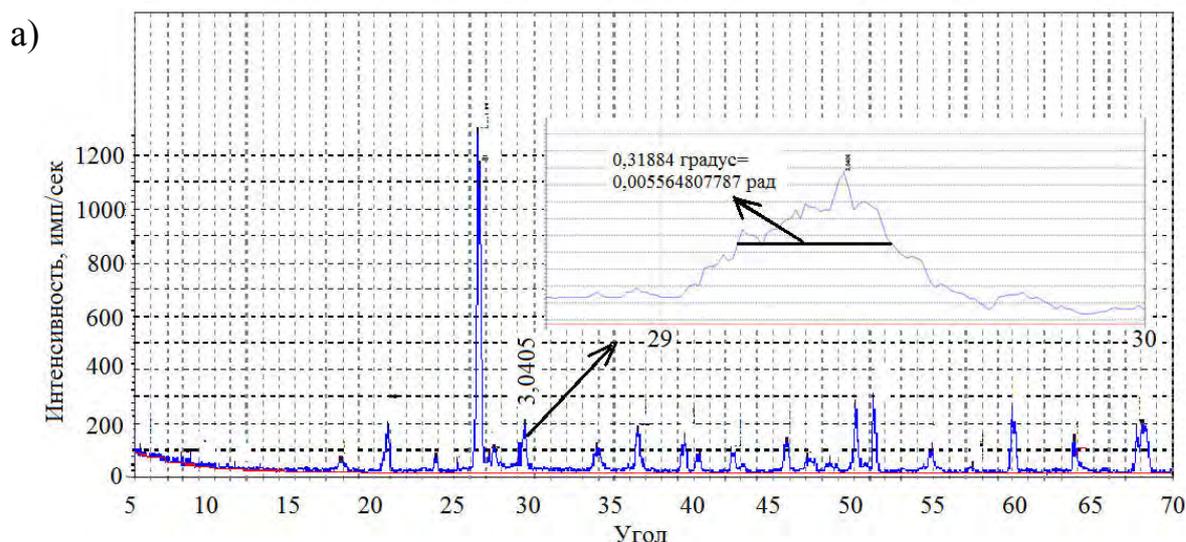


Рис. 3.15. Дифрактограммы штукатурного раствора: на основе ИПС

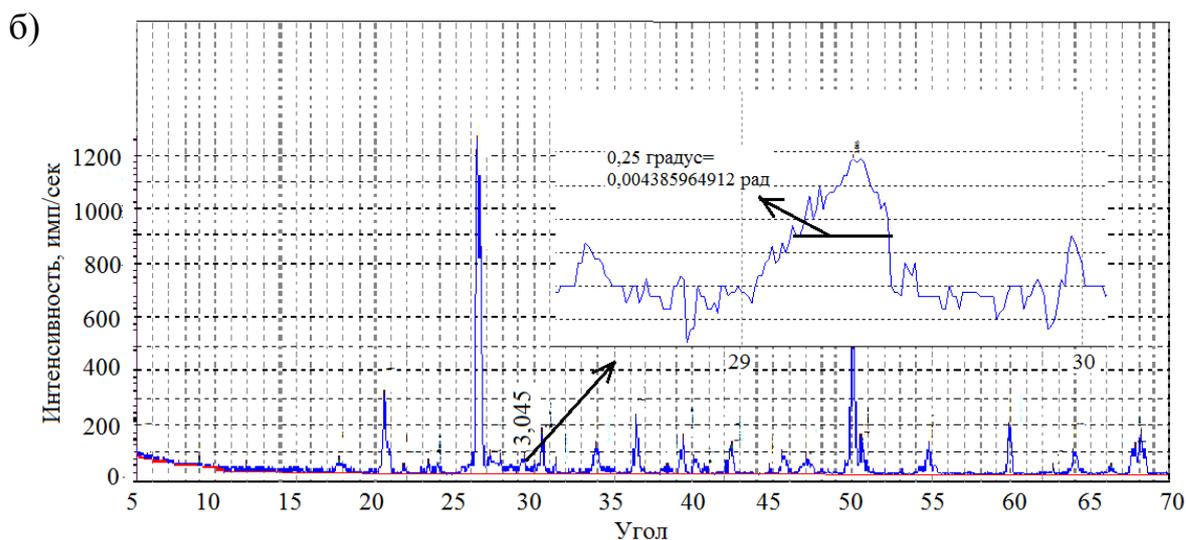


Рис. 3.16. Дифрактограммы штукатурного раствора на основе извести-пушонки

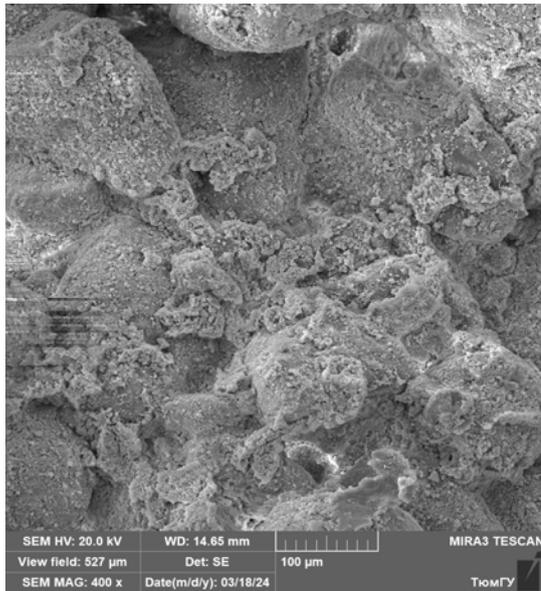
Результаты расчета величины кристаллитов представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Размер кристаллитов CaCO₃

Наименование показателя	Значение, для штукатурной смеси на основе	
	ИПС	извести-пушонки
Длина волны излучения, λ , мкм	0,00015405	
Безразмерный коэффициент формы частиц (постоянная Шеррера), n	1	
Угол рассеяния на дифрактограмме, θ , градус	14,675	14,65
Физическое уширение линии на дифрактограмме в радианах (в шкале 2θ), β , рад.	0,00556481	0,00348596
Размер кристаллита по направлению $h-k-l$, D , мкм	0,0286	0,0363

Микроскопические исследования структуры затвердевших штукатурных растворов в возрасте двух лет, представленные на рис. 3.17, показывают, что раствор на основе ИПС имеет большее количество скоплений мелких кристаллов CaCO₃, которые срослись в единый кристаллический сросток, что выражается в получении однородной монолитной структуры, по сравнению с раствором на основе извести-пушонки.

а)



б)

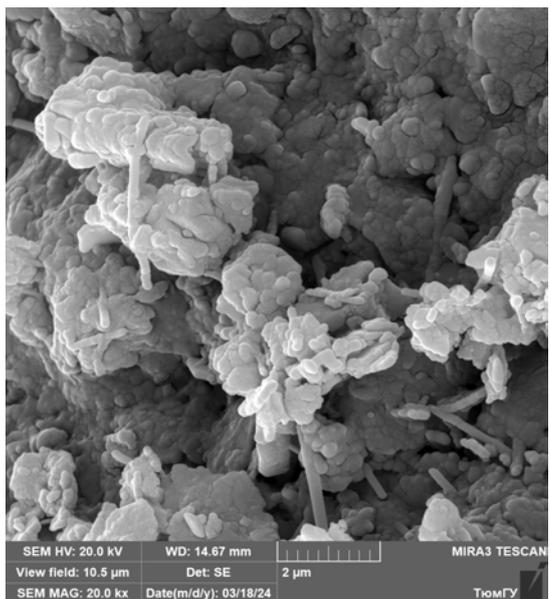
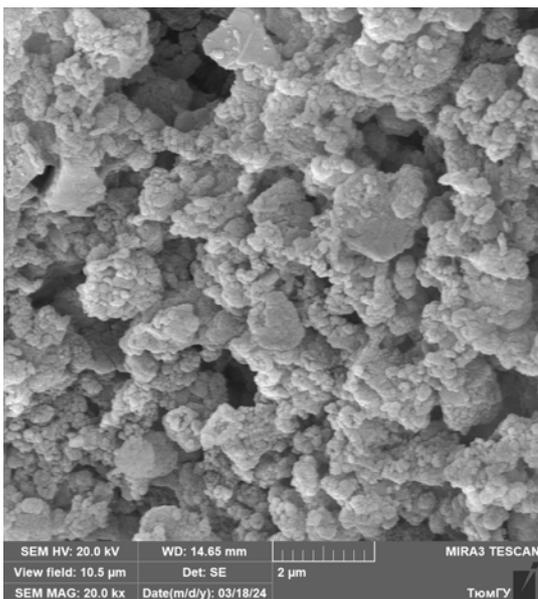
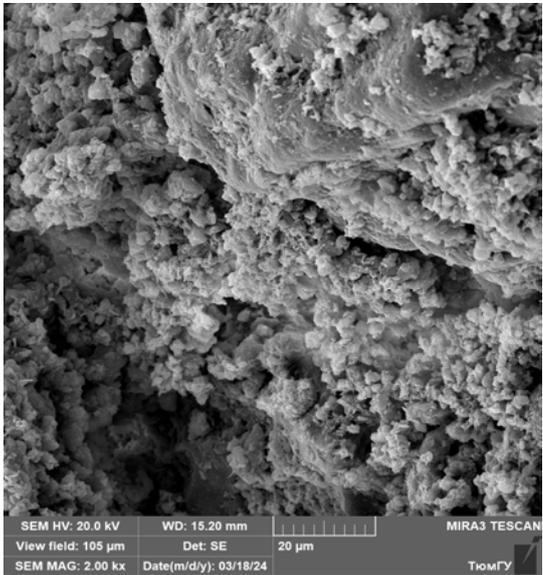
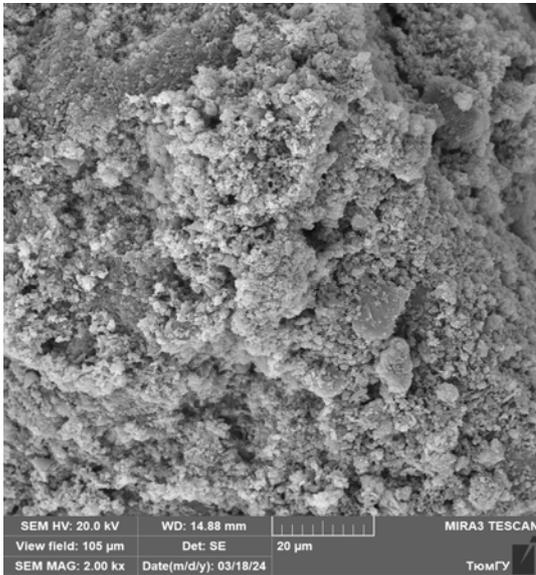
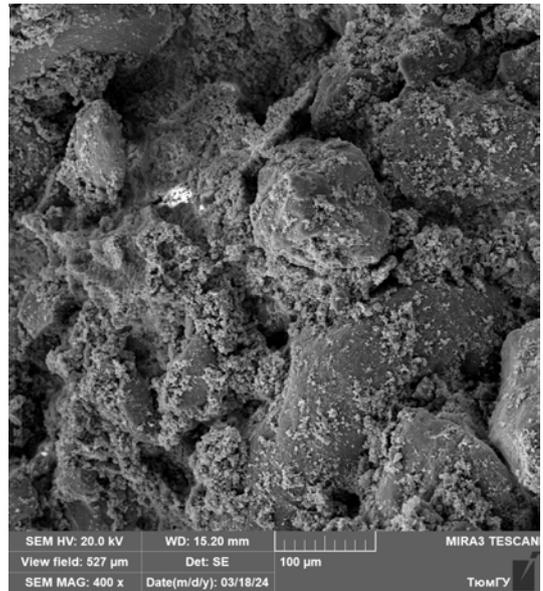


Рис. 3.17. Микроструктура штукатурных растворов:

а) на основе ИПС; б) на основе извести-пушонки

Результаты измерения размеров кристаллитов (рис. 3.18), свидетельствуют о том, что:

- после 28 суток происходит дальнейший рост кристаллитов вокруг центров кристаллизации, сопровождающийся увеличением их размеров;

- к возрасту двух лет, размер кристаллитов CaCO_3 в штукатурном растворе на основе извести-пушонки достигает размеров, в среднем 0,2 мкм, тогда как в штукатурном растворе на основе ИПС он составляет 0,07 мкм, т.е. в 3 раза меньше.

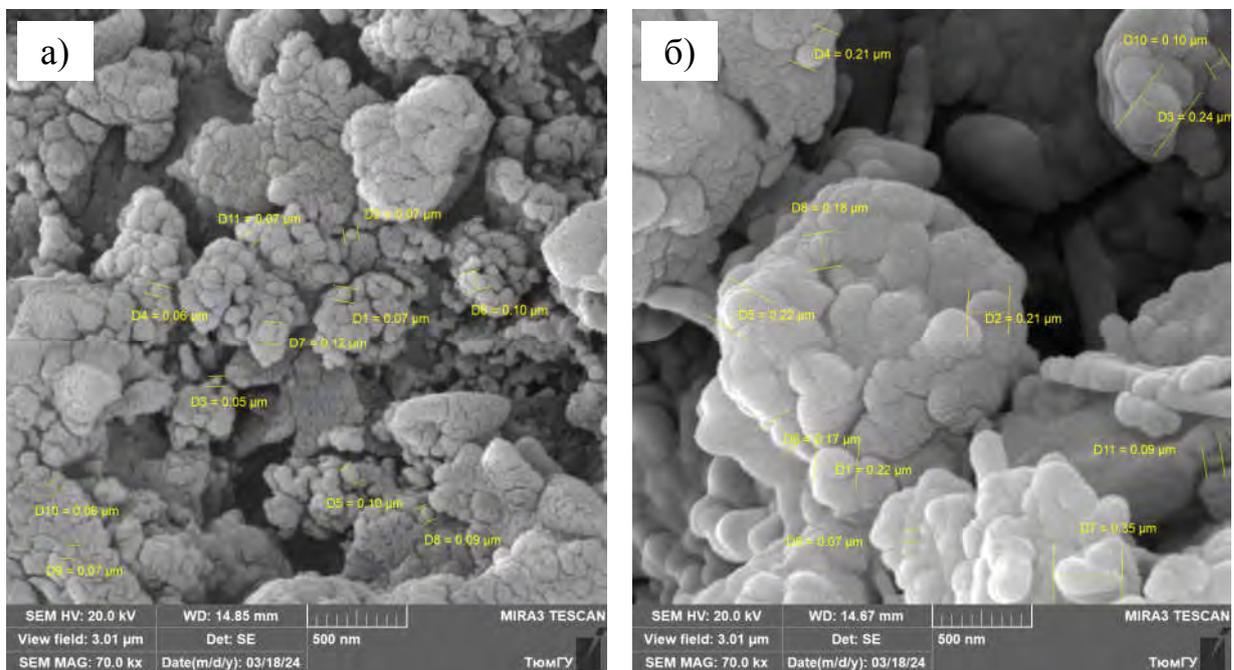


Рис. 3.18. – Кристаллиты CaCO_3 в штукатурных растворах:

а) на основе ИПС; б) на основе извести-пушонки

Из представленных данных, можно сделать вывод, что в штукатурном растворе на основе извести-пушонки формируются более крупные кристаллиты кальцита. При формировании крупнокристаллической структуры возникающие напряжения значительно выше, в сравнении с мелкокристаллической.

Срастанию кристаллов в материалах способствует возникновение кристаллизационного давления за счет насыщения системы центрами

кристаллизации и сближения расстояний между ними, что повышает прочность материала. Следовательно, для достижения большей прочности, необходимо стремиться к созданию условий для формирования как можно большего количества центров кристаллизации, их быстрому росту, сближению и срастанию.

Образование зародышей на готовой поверхности происходит легче, чем в объеме раствора, потому что работа их образования на границе раздела фаз меньше работы, требующейся для возникновения зародыша в объеме раствора [202]. Следовательно, рост кристаллов CaCO_3 начинается на поверхности частиц $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Большое количество мелких части $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в растворе на основе ИПС способствует одновременному возникновению большего количества центров кристаллизации и формированию большего количества мелких, равномерно распределенных кристаллических сростков CaCO_3 . Это способствует не только более быстрой карбонизации гидратной извести [203], но и формированию однородной структуры раствора.

3.3. Целесообразность применения известково-песчаной смеси завода по производству силикатного кирпича для производства сухой штукатурной смеси

Дисперсность извести оказывает большое влияние, как на свойства растворной смеси, так и на свойства затвердевшего раствора. Следовательно, получение штукатурного раствора на основе воздушной извести с высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками возможно путем применения в качестве основы – известково-песчаной смеси (ИПС) завода по производству силикатного кирпича.

Для оценки целесообразности применения известково-песчаной смеси в качестве основы для сухой штукатурной смеси были оценены свойства растворной смеси и затвердевшего раствора на ее основе по сравнению с

раствором, приготовленным на основе извести-пушонки с одинаковой активностью по $\text{Ca}(\text{OH})_2$ – 9%.

Установлено, что для получения одинаковой подвижности растворной смеси (П_{к3}) ИПС требуется больше воды, однако она обладает более высокой водоудерживающей способностью (табл. 3.6).

Таблица 3.6 – Свойства растворных смесей

Наименование показателя	Значение показателя, для штукатурной смеси на основе	
	ИПС	извести-пушонки
Погружение конуса, см	8,7	8,4
Количество воды затворения на 1 кг смеси, мл	425	410
Водоудерживающая способность, %	93	84

Способ гашения извести также влияет на цвет растворной смеси (рис. 3.19) и затвердевшего раствора (рис. 3.20). Более светлый тон раствора на основе ИПС обусловлен: во-первых, высокой дисперсностью гашеной извести; во-вторых – частицы $\text{Ca}(\text{OH})_2$ при совместном гашении извести с песком в силосе или реакторе, в стесненных условиях, плотно покрывают поверхность частиц песка. Так же ИПС после гашения проходит дополнительный процесс обработки в стержневом смесителе, где дополнительно происходит более равномерное распределение извести на поверхности частиц песка.

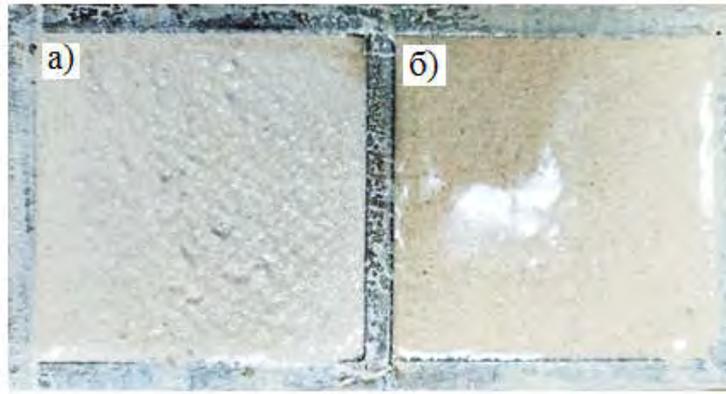


Рис. 3.19. Внешний вид растворной смеси до затвердевания
а) на основе ИПС; б) на основе извести-пушонки

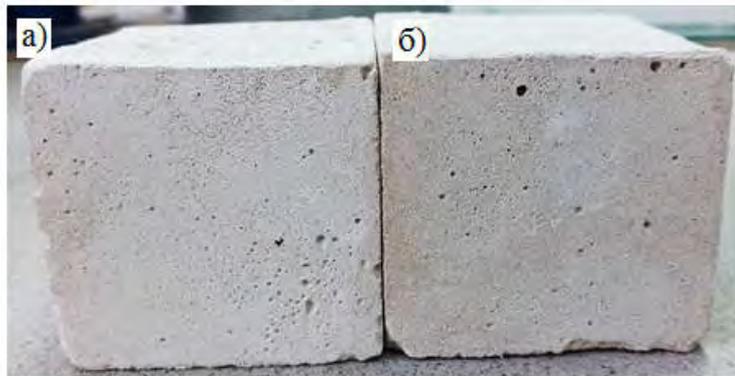


Рис. 3.20. Внешний вид затвердевшего раствора
а) на основе ИПС; б) на основе извести-пушонки

Результаты определения прочности при сжатии образцов затвердевшего раствора свидетельствуют о том, что дисперсность извести оказывает на нее значительно влияние. Прочность раствора на основе ИПС составила 0,86 МПа, на основе извести-пушонки – 0,33 МПа, т.е. в 2,5 раза ниже.

Состав известково-песчаной смеси для производства силикатной продукции проектируется таким образом, чтобы гашеной извести было достаточно для покрытия всей поверхности частиц песка. Дальнейшее увеличение количества извести в смеси не целесообразно, так как может привести к увеличению усадки при твердении и трещинообразованию (рис.

3.21.). Результат эксперимента, представленный в табл. 3.7 подтверждает данную гипотезу.

Таблица 3.7 – Влияние активности штукатурной смеси по содержанию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ на ее свойства

Содержание $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в штукатурной смеси, %	Прочность при сжатии, МПа	Наличие трещин
9,3	0,86	Трещин нет
10,7	1,09	Небольшое количество
12,1	1,29	Большое количество

Так же, увеличение содержания извести приводит к появлению липкости растворной смеси. Следовательно, активность ИПС по содержанию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 9-9,5 % является оптимальной для получения штукатурного раствора. Для увеличения прочности раствора необходимо рассмотреть другие направления.

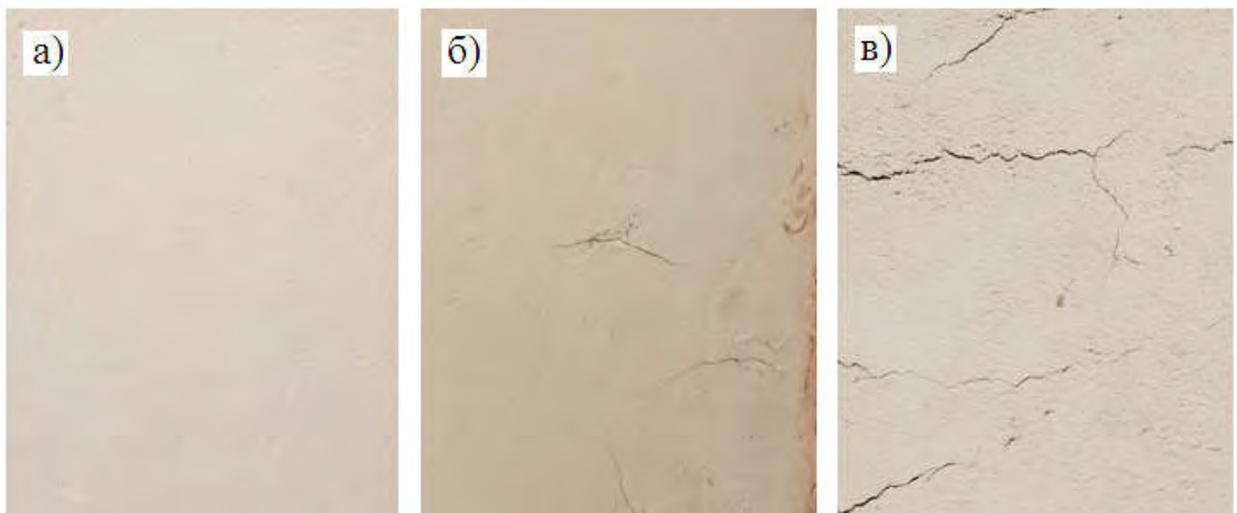


Рис. 3.21. Внешний вид штукатурного раствора с различным содержанием $\text{Ca}(\text{OH})_2$: а) 9,3%; б) 11,7%; в) 12,1%

3.4. Влияние модифицирующих добавок на свойства штукатурного раствора на основе известково-песчаной смеси

Затвердевший штукатурный раствор, приготовленный из ИПС, без применения добавок, в возрасте 28 суток обладает следующими характеристиками:

- средняя плотность – 1400-1500 кг/м³;
- прочность на сжатие в возрасте 28 суток – 0,7-0,9 МПа;
- капиллярное водопоглощение – 0,95-0,98 кг/(м²·мин^{-0,5}).

Нормативным документом, регламентирующим требования к сухим штукатурным смесям, является ГОСТ 33083-2014 «Сухие строительные смеси на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия». Несмотря на то, что данный ГОСТ распространяется на цементные штукатурные смеси, характеристики известковых растворов также должны удовлетворять данным требованиям, так как они сформулированы на основе реальных потребительских запросов.

Прочность при сжатии раствора 0,6-0,7 МПа согласно ГОСТ 33083-2014 соответствует классу по прочности КП-I, однако данной прочности недостаточно, для удовлетворения потребительских требований, так как при такой прочности раствор крошится и осыпается даже от небольших механических воздействий. Большинство штукатурных составов на основе строительного гипса имеют класс по прочности КП-II, что, как показала практика их применения, вполне достаточно для удовлетворения основных потребительских требований к готовому покрытию. Поэтому, необходимо рассмотреть возможность повышения прочности при сжатии штукатурного раствора на основе ИПС до удовлетворения требований для класса КП-II. В диссертационной работе для увеличения прочности штукатурного раствора предложено применение водорастворимого полимерного порошка. В процессе испарения воды, происходит сближение частиц полимера, и образований сплошной полимерной матрицы, частично закрывающей поры и

микродефекты в структуре раствора. Это также способствует снижению капиллярного водопоглощения.

Высокое капиллярное водопоглощение штукатурного раствора на основе извести, значительно превышающее допустимое ГОСТом (не более $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-0,5})$), является серьезным препятствием для его применения, так как капиллярное водопоглощение определяет способность раствора впитывать и передавать влагу вглубь стеновой конструкции, что ставит вопрос о долговечности не только самого штукатурного раствора, но и всей стеновой конструкции. Капиллярное водопоглощение играет особенно важную роль в возникновении и развитии коррозионных процессов в штукатурном покрытии, включая вызванные биокоррозией [204, 205]. Классическим способом снижения водопоглощения, в том числе и при капиллярном подсосе, является введение в состав материала гидрофобизирующих добавок.

Важнейшими технологическими свойствами штукатурных растворов являются водоудерживающая способность, устойчивость к сползанию и адгезия к основанию, которые регулируются путем применения модифицирующих добавок [206-208]. В качестве таких добавок применяются эфиры целлюлозы, которые являются неотъемлемой частью любой штукатурной смеси.

3.4.1. Влияние ретиспергируемого полимерного порошка на свойства затвердевшего штукатурного раствора

Результаты исследований, представленные на рис. 3.22-3.24, показали, что максимальная прочность затвердевшего штукатурного раствора при сжатии величиной 7,15 МПа и при изгибе 4,3 МПа достигается при содержании ретиспергируемого полимера в количестве 4 % от массы сухой смеси. Дальнейшее увеличение количества РП не приводит к увеличению прочности раствора. Минимальное требуемое количество РП для достижения

прочности при сжатии 2,5 МПа, соответствующей классу по прочности КП-П, составляет 1,5 % от массы сухой смеси.

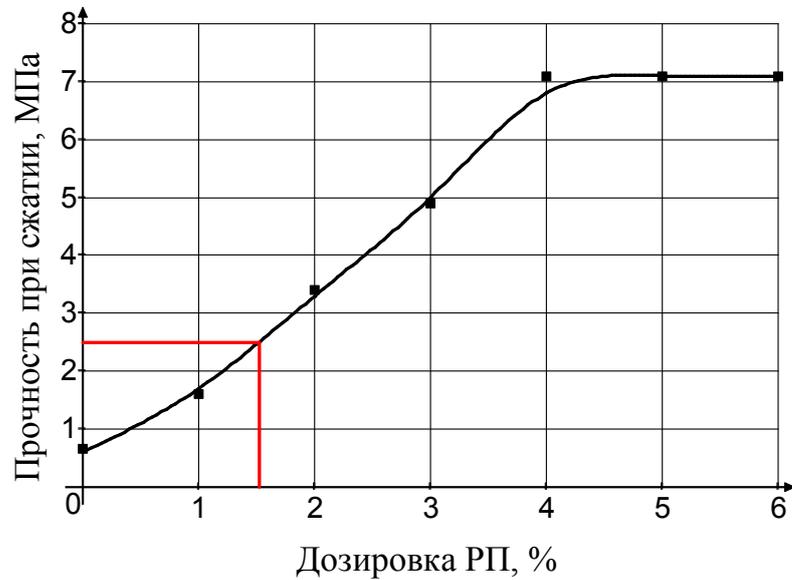


Рис.3.22. Влияние РП на прочность при сжатии штукатурного раствора на основе ИПС

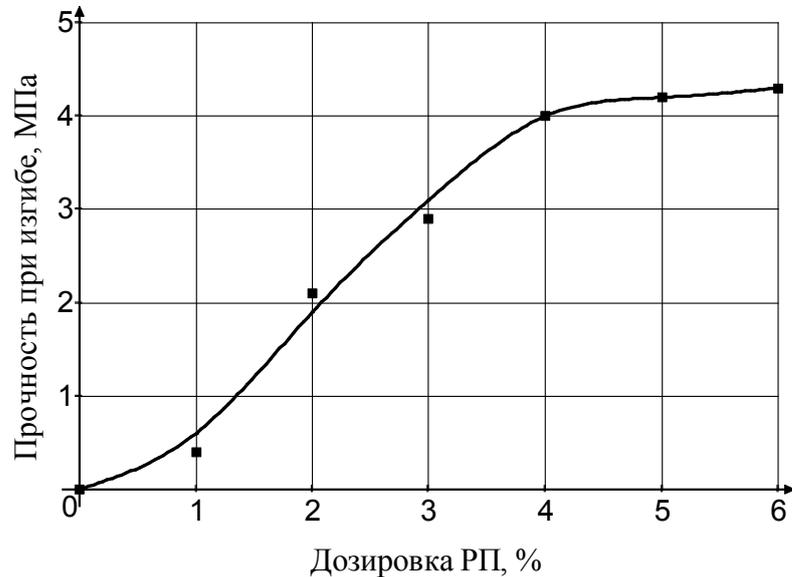


Рис.3.23. Влияние РП на прочность при изгибе штукатурного раствора на основе ИПС

Изменение капиллярного водопоглощения при введении в состав штукатурной смеси РП носит линейный характер. Требуемое капиллярное водопоглощение – $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{-0,5})$ достигается при дозировке РП – 2,5%.

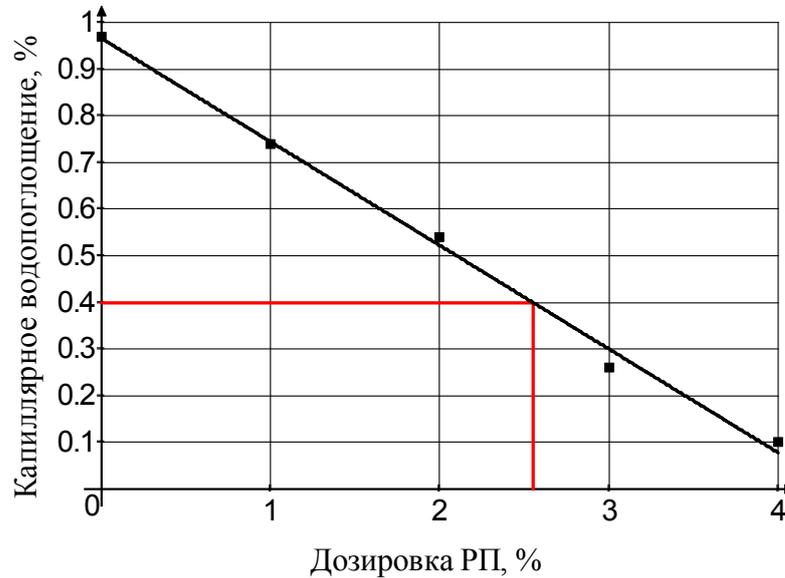


Рис. 3.24. Влияние РП на капиллярное водопоглощение штукатурного раствора на основе ИПС

Снижение капиллярного водопоглощения штукатурного раствора при введении в состав редиспергируемого полимера объясняется тем, что полимерный компонент заполняет поры и микродефекты в растворе, что подтверждается результатами исследования структуры затвердевшего раствора. В образце раствора без добавки РП (рис. 3.25а) наблюдается значительное количество пор, тогда как в образце с содержанием РП 3 % (рис. 3.25б), поры практически полностью заполнены полимером.

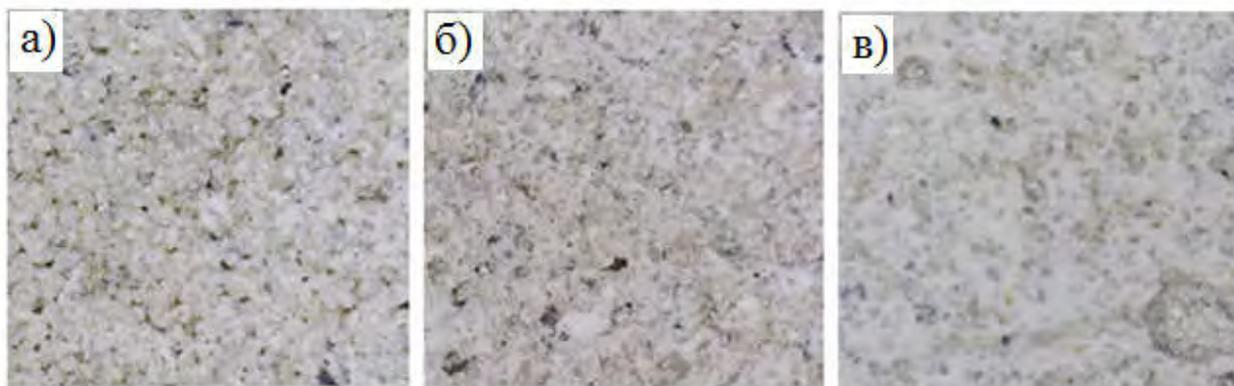


Рис. 3.25. Структура затвердевшего штукатурного раствора с различным содержанием РП при 40-кратном увеличении
а) без РП; б) с РП 1,5%; в) с РП 3%

Редиспергируемый полимерный порошок – это достаточно дорогой компонент, и введение его с позиции снижения капиллярного водопоглощения не обосновано. Следовательно, оптимальное содержание РП в составе сухой смеси составляет 1,5% по массе.

3.4.2. Влияние гидрофобизаторов на свойства штукатурного раствора

Для снижения капиллярного водопоглощения целесообразно применение гидрофобизирующих добавок. Гидрофобизация – это резкое снижение способности изделий и материалов смачиваться водой и водными растворами при сохранении паро- и газопроницаемости. В качестве гидрофобизаторов применяют соли жирных кислот некоторых металлов, например, стеарат цинка или кальция, олеат натрия, некоторые ПАВ и кремнийорганические соединения [209, 210].

Кремнийорганические соединения не снижают паропроницаемость материалов, так как начинают «работать» только при контакте с капельной влагой, оставаясь проницаемыми для паров воды вследствие своей «рыхлой» структуры. Стеараты и олеаты также не закрывают поры внутри материала, поэтому не снижают паропроницаемость. Следовательно, и

кремнийорганические соединения [211-214], и соли жирных кислот [215, 216] могут быть применены в составе штукатурного раствора.

Еще одно обязательное требование к гидрофобизирующим добавкам для сухих строительных смесей – это хорошая растворимость в воде.

Специально для сухих строительных смесей предлагаются следующие гидрофобизирующие добавки: стеарат кальция и гидрофобизаторы на кремнийорганической основе, например, производства компании Wacker Chemie AG, серии SILRES, марок А и D.

Результаты исследования влияния гидрофобизаторов на свойства штукатурного раствора, представленные в таблице 3.8, показали, что:

1) Все исследуемые гидрофобизаторы обеспечивают требуемое значение капиллярного водопоглощения штукатурного раствора менее $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{0,5})$.

2) При введении в состав сухой строительной смеси гидрофобизирующих добавок наблюдается увеличение прочности штукатурного раствора по сравнению с контрольным составом, без добавки. Однако увеличение дозировки гидрофобизатора приводит к снижению прочности при сжатии штукатурного раствора. Вероятно, это объясняется тем, что добавка замедляет процесс растворения и кристаллизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что приводит к формированию рыхлой, дефектной структуры раствора. Этим же и объясняется увеличение капиллярного водопоглощения при увеличении дозировки гидрофобизирующей добавки.

3) Наибольшим гидрофобизирующим эффектом обладает добавка стеарата кальция в минимальной дозировке. Дополнительно наблюдается увеличение прочности затвердевшего штукатурного раствора практически на 40%.

Снижение прочности при увеличении дозировки гидрофобизирующей добавки наблюдается и в цементных бетонах [216], но только в начальные сроки твердения.

Таблица 3.8 – Влияние гидрофобизирующих добавок на свойства
штукатурного раствора

Наименование добавки	Дозировка, % от массы сухой смеси	Капиллярное водопоглощение, кг/(м ² ·ч ^{0,5})	Прочность при сжатии, МПа
-	-	0,97	0,67
SilresPowder A	0,20	0,18	0,77
	0,35	0,19	0,71
	0,50	0,20	0,58
SilresPowder D	0,20	0,14	0,63
	0,35	0,15	0,52
	0,50	0,16	0,46
Стеарат кальция	0,40	0,17	0,93
	0,70	0,20	0,75
	1,00	0,22	0,67

3.4.3. Влияние эфира целлюлозы на свойства затвердевшего штукатурного раствора

ГОСТ 33083-2014 регламентируется прочность сцепления штукатурного раствора с основанием – адгезионная прочность, которая должна быть не менее 0,3 МПа. При определении адгезионной прочности штукатурного раствора на основе ИПС без добавок, происходит его когезионное разрушение при нагрузке, соответствующей прочности 0,22 МПа, т.е. адгезионную прочность определить не представляется возможным. Поэтому, влияние ЭЦ на прочность при сжатии и адгезионную прочность затвердевшего штукатурного раствора определялось при содержании в смеси РП в количестве 1,5% по массе.

Результаты исследования, представленные в таблице 3.9, показали, что увеличение содержания эфира целлюлозы в составе сухой штукатурной

смеси приводит к увеличению адгезионной прочности, но сопровождается снижением прочности при сжатии. Минимальное содержание ЭЦ, обеспечивающее требуемую прочность сцепления раствора с основанием, составляет 0,1% от массы сухой строительной смеси.

Таблица 3.9 – Влияние эфира целлюлозы на прочность сцепления раствора с основанием

№ состава	Содержание ЭЦ, %	Прочность при сжатии, МПа	Прочность при отрыве от основания, МПа	Характер разрушения
1	0	2,50	0,28	адгезионный
2	0,1	2,41	0,32	адгезионный
3	0,2	2,27	0,40	адгезионный
4	0,3	2,01	0,47	когезионный

Предельная дозировка ЭЦ в составе сухой штукатурной смеси составляет 0,2%, что определяется липкостью растворной смеси, которая появляется при больших дозировках добавки. Водоудерживающая способность штукатурной смеси при содержании ЭЦ 0,1% составляет 96%, что удовлетворяет требованиям ГОСТ.

Так как добавки оказывают взаимное влияние на характеристики затвердевшего штукатурного раствора, необходимо уточнение их требуемых дозировок путем проведения трехфакторного эксперимента.

3.5. Оптимизация состава сухой штукатурной смеси на основе известково-песчаной смеси

На качество штукатурного раствора на основе воздушной извести большое влияние оказывают модифицирующие добавки. Так как их стоимость достаточно высока, то точное определение требуемого содержания добавок является важной задачей.

ГОСТ 33083-2014 «Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ. Технические условия» регламентирует следующие требования к штукатурному раствору:

- прочность при сжатии не менее 2,5 МПа (для класса по прочности КП-II);
- адгезионная прочность не менее 0,3 МПа;
- капиллярное водопоглощение не менее $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}^{0,5})$.

При проектировании состава требования к адгезионной прочности увеличены, так как это важный параметр для отделочных покрытий. Принята требуемая адгезионная прочность 0,37 МПа, так как на основании предварительных исследований установлено, что после данного значения происходит когезионный отрыв штукатурного раствора.

Вышеуказанные свойства можно регулировать с помощью добавок: редиспергируемого полимерного порошка, эфира целлюлозы и гидрофобизатора (стеарат кальция). Так как данные добавки могут оказывать взаимное влияние на указанные свойства, необходимо выполнить трехфакторный эксперимент по выявлению влияния добавок на физико-механические характеристики штукатурного раствора. Факторы и интервалы варьируемого трехфакторного эксперимента представлены в таблице 3.10.

Таблица 3.10 – Факторы и интервалы их варьирования

Обозначение фактора	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования	Наименование фактора
x_1	0	0,2	0,4	0,2	Содержание гидрофобизатора (ГФ), % по массе
x_2	0	0,1	0,2	0,1	Содержание эфира целлюлозы (ЭЦ), % по массе
x_3	1	2	3	1	Содержание редиспергируемого полимера (РП), % по массе

Математическая модель зависимости выходного параметра от переменных факторов в общем виде выглядит следующим образом:

$$y=b_0+b_1x_1+b_2x_2+b_3x_3+b_{11}x_1^2+b_{22}x_2^2+b_{33}x_3^2+b_{12}x_1x_2+b_{13}x_1x_3+b_{23}x_2x_3 \quad (3.1)$$

3.5.1 Влияния добавок на прочность раствора при сжатии

Результаты эксперимента по влиянию добавок на прочность раствора при сжатии представлены в таблице 3.11, коэффициенты уравнения математической модели в таблице 3.12 и их значимость в таблице 3.13.

Таблица 3.11– Влияние добавок на прочность раствора при сжатии

Номер состава	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр ($R_{сж}$, МПа)		
	x_1	x_2	x_3	ГФ	ЭЦ	РП	$y(u,1)$	$y(u,2)$	$y(u,3)$
1	-1	-1	-1	0	0	1	1,7	1,75	1,69
2	+1	-1	-1	0,4	0	1	2,3	2,34	2,29
3	-1	+1	-1	0	0,2	1	1,31	1,29	1,32
4	-1	-1	+1	0	0	3	5,0	4,90	4,77
5	-1	0,19	0,19	0	0,119	2,19	3,21	3,44	3,36
6	0,19	-1	0,19	0,238	0	2,19	4,14	4,01	3,96
7	0,19	0,19	-1	0,238	0,119	1	1,79	1,82	1,85
8	-0,29	+1	+1	0,142	0,2	3	4,67	4,98	4,61
9	+1	-0,29	+1	0,4	0,071	3	5,22	5,23	5,38
10	+1	+1	-0,29	0,4	0,2	1,71	3,0	3,27	2,80

Таблица 3.12– Коэффициенты уравнения математической модели

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
3,41	0,281	-0,212	1,58	-0,062	-0,013	-0,006	0,054	0	-0,023

Уравнение математической модели:

$$y = (3,41) + (0,281)x_1 + (-0,212)x_2 + (1,58)x_3 + (-0,062)x_1^2 + (0,054)x_2^2 + (-0,023)x_3^2 + (-0,013)x_1x_2 + (-0,006)x_1x_3 + (0)x_2 \cdot x_3 \quad (3.2)$$

Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах: 0,014

Число степеней свободы: 20

Табличное значение критерия Стьюдента: 2,09

Таблица 3.13– Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
t – критерий	30,766	5,923	4,469	33,307	0,676	0,23	0,106	0,589	0	0,251
Значимость	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Уравнение математической модели, преобразованное с учетом значимости коэффициентов в кодированных переменных:

$$R_{сж} = 0,281x_1 - 0,212x_2 + 1,58x_3 + 3,41 \quad (3.3)$$

Уравнение математической модели в натуральном выражении:

$$R_{сж} = 1,405x_1 - 2,12x_2 + 1,58x_3 + 0,181 \quad (3.4)$$

3.5.2. Влияния добавок на адгезионную прочность

Результаты эксперимента по влиянию добавок на адгезионную прочность раствора представлены в таблице 3.14, коэффициенты уравнения математической модели в таблице 3.15 и их значимость в таблице 3.16.

Таблица 3.14 – Влияние добавок на адгезионную прочность

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр ($R_{ад}$, МПа)		
	x_1	x_2	x_3	ГФ	ЭЦ	РП	$y(u,1)$	$y(u,2)$	$y(u,3)$
1	-1	-1	-1	0	0	1	0,281	0,287	0,283
2	+1	-1	-1	0,4	0	1	0,310	0,299	0,304
3	-1	+1	-1	0	0,2	1	0,390	0,388	0,392
4	-1	-1	+1	0	0	3	0,381	0,377	0,375

Продолжение таблицы 3.14 – Влияние добавок на адгезионную прочность

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (R _{ад} , МПа)		
	x ₁	x ₂	x ₃	ГФ	ЭЦ	РП	y(u,1)	y(u,2)	y(u,3)
5	-1	0,19	0,19	0	0,119	2,19	0,433	0,431	0,400
6	0,19	-1	0,19	0,238	0	2,19	0,329	0,332	0,322
7	0,19	0,19	-1	0,238	0,119	1	0,379	0,376	0,382
8	-0,29	+1	+1	0,142	0,2	3	0,476	0,481	0,480
9	+1	-0,29	+1	0,4	0,071	3	0,464	0,458	0,451
10	+1	+1	-0,29	0,4	0,2	1,71	0,477	0,473	0,471

Таблица 3.15 – Коэффициенты уравнения математической модели

b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₂	b ₂₃	b ₃₃
0,402	0,016	0,061	0,042	0,018	0,009	-0,004	-0,024	-0,002	0,003

Уравнение математической модели:

$$y = (0,402) + (0,016)x_1 + (0,061)x_2 + (0,042)x_3 + (0,018)x_1^2 + (-0,024)x_2^2 + (0,003)x_3^2 + (0,009)x_1x_2 + (-0,004)x_1x_3 + (-0,002)x_2x_3 \quad (3.5)$$

Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах: 0

Число степеней свободы: 20

Табличное значение критерия Стьюдента: 2,09

Таблица 3.16 – Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели

	b ₀	b ₁	b ₂	b ₃	b ₁₁	b ₁₂	b ₁₃	b ₂₂	b ₂₃	b ₃₃
t – критерий	61,683	5,736	21,869	15,057	3,339	2,706	1,203	4,452	0,601	0,556
Значимость	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0

Уравнение математической модели, преобразованное с учетом значимости коэффициентов:

$$R_{ад} = 0,016x_1 + 0,061x_2 + 0,042x_3 + 0,018x_1^2 - 0,024x_2^2 + 0,009x_1x_2 + 0,402 \quad (3.6)$$

Уравнение математической модели в натуральном выражении:

$$R_{ад} = -0,145x_1 + x_2 + 0,042x_3 + 0,45x_1^2 - 2,4x_2^2 + 0,45x_1x_2 + 0,244 \quad (3.7)$$

3.5.3. Влияния добавок на капиллярное водопоглощение

Результаты эксперимента по влиянию добавок на капиллярное водопоглощение раствора представлены в таблице 3.17, коэффициенты уравнения математической модели в таблице 3.18 и их значимость в таблице 3.19.

Таблица 3.17 – Результаты эксперимента по влиянию добавок на капиллярное водопоглощение

Номер опыта (u)	Матрица планирования			Натуральные значения переменных			Выходной параметр (W_k , кг/(м ² ·мин ^{0,5}))		
	x_1	x_2	x_3	ГФ	ЭЦ	РП	y(u,1)	y(u,2)	y(u,3)
1	-1	-1	-1	0	0	1	0,717	0,710	0,722
2	+1	-1	-1	0,4	0	1	0,211	0,229	0,204
3	-1	+1	-1	0	0,2	1	0,827	0,83	0,805
4	-1	-1	+1	0	0	3	0,297	0,31	0,32
5	-1	0,19	0,19	0	0,119	2,19	0,491	0,497	0,482
6	0,19	-1	0,19	0,238	0	2,19	0,181	0,189	0,184
7	0,19	0,19	-1	0,238	0,119	1	0,431	0,427	0,421
8	-0,29	+1	+1	0,142	0,2	3	0,321	0,314	0,317
9	+1	-0,29	+1	0,4	0,071	3	0,033	0,050	0,041
10	+1	+1	-0,29	0,4	0,2	1,71	0,206	0,207	0,192

Таблица 3.18 – Коэффициенты уравнения математической модели

b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
0,283	-0,204	0,055	-0,142	0,025	-0,006	0,052	0,02	0,01	0,041

Уравнение математической модели:

$$y=0,283-0,204x_1+0,055x_2-0,142x_3+0,025x_1^2+0,02x_2^2+0,041x_3^2-0,006x_1x_2+0,052x_1x_3+0,01x_2x_3 \quad (3.8)$$

Дисперсия воспроизводимости в параллельных опытах: 0

Число степеней свободы: 20

Табличное значение критерия Стьюдента: 2,09

Таблица 3.19 – Критерии Стьюдента и значимость коэффициентов модели
(1/0 – значимый/незначимый)

	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{12}	b_{13}	b_{22}	b_{23}	b_{33}
t – критерий	34,49	58,089	15,661	40,435	3,683	1,433	12,42	2,946	2,388	6,04
Значимость	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1

Уравнение математической модели, преобразованное с учетом значимости коэффициентов:

$$W_k = -0,204x_1 + 0,055x_2 - 0,142x_3 + 0,025x_1^2 + 0,02x_2^2 + 0,041x_3^2 + 0,052x_1x_3 + 0,01x_2x_3 + 0,283 \quad (3.9)$$

Уравнение математической модели, преобразованное с учетом значимости коэффициентов в натуральном выражении:

$$W_k = -1,79x_1 + 0,05x_2 - 0,368x_3 + 0,625x_1^2 + 2x_2^2 + 0,041x_3^2 + 0,26x_1x_3 + 0,1x_2x_3 + 1,049 \quad (3.10)$$

3.5.4. Проверка адекватности математических моделей

Результаты проверки математических моделей по критерию Фишера представлены в таблице 3.20.

Таблица 3.20 – Проверка адекватности математических моделей

Выходной параметр математической модели	Дисперсия адекватности математической модели	Число степеней свободы при значимых коэффициентах	Табличное значение критерия Фишера	Расчетное значение критерия Фишера	Вывод по адекватности математической модели
Прочность при сжатии ($R_{сж}$)	0,009	6	2,6	0,64	По критерию Фишера уравнение математической модели является адекватным. Модель применима для решения производственных задач
Адгезионная прочность ($R_{ад}$)	0	3	3,1	0,64	
Капиллярное водопоглощение (W_k)	0,001	1	4,35	0,64	

3.5.5. Графическая интерпретация математических моделей

Графические зависимости свойств штукатурного раствора от варьируемых переменных построены при константе одного из параметров, оказывающего наименьшее влияние на свойства (рис. 3.26-3.28).

Для капиллярного водопоглощения наименее значимым фактором является содержание эфира целлюлозы – x_2 .

На адгезионную прочность наименьшее влияние оказывает дозировка гидрофобизатора – x_1 .

На прочность при сжатии наименьшее влияние оказывает содержание эфира целлюлозы – x_2 .

В результате анализа полученных математических моделей установлены минимальные значения варьируемых параметров для достижения заданных свойств штукатурного раствора, а именно:

- содержание гидрофобизатора – 0,17%;
- содержание эфира целлюлозы – 0,09%;
- содержание редиспергируемого полимера – 1,44%.

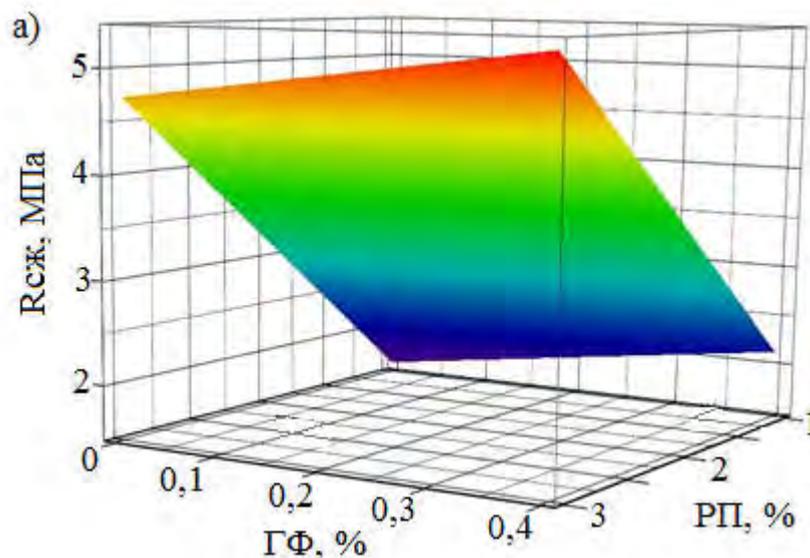


Рис. 3.26. Влияние добавок на прочность при сжатии (при содержании эфира целлюлозы 0,09 %)

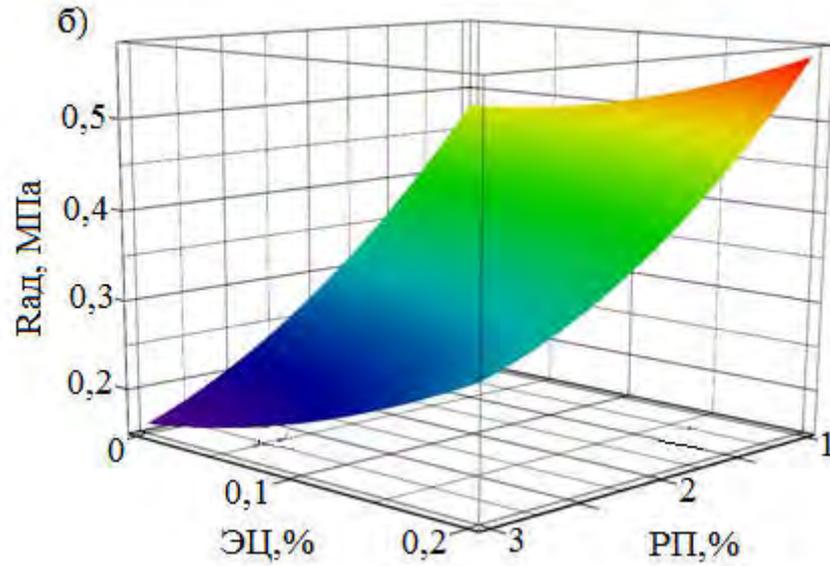


Рис. 3.27. Влияние добавок на адгезионную прочность (при содержании гидрофобизатора 0,17 %)

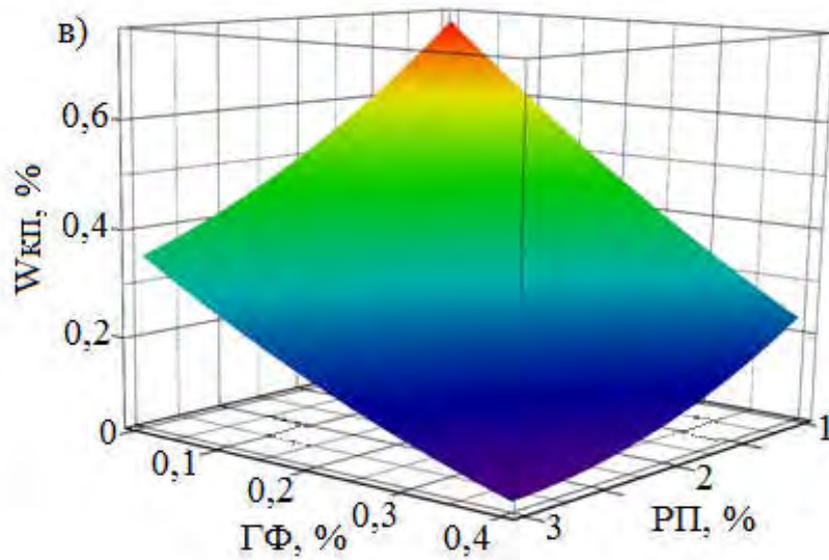


Рис. 3.28. Влияние добавок на капиллярное водопоглощение (при содержании эфира целлюлозы 0,09 %)

3.5.6. Оценка паропроницаемости штукатурного раствора

Оценка паропроницаемости штукатурного раствора на основе извести осуществляли в сравнении с аналогами – штукатурными растворами на основе гипса и цемента (рис. 3.29). В качестве образца для сравнения был принят ранее установленный оптимальный состав известково-песчаной штукатурной смеси.



Рис. 3.29. Образцы штукатурных растворов:

а) на основе гипса; б) на основе извести; в) на основе цемента

Протокол определения коэффициент паропроницаемости представлен в таблице 3.21.

Плотность потока водяного пара через образец g , $\text{мг}/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$ вычисляется по формуле:

$$g = \Delta m / \Delta \tau \cdot A, \quad (3.11)$$

где: Δm – изменение массы сосуда с образцом за интервал времени $\Delta \tau$, мг; $\Delta \tau$ – интервал времени между двумя последовательными взвешиваниями, ч; A – площадь рабочей поверхности образца, м^2 , для образца диаметром 0,1 м равная $0,00785 \text{ м}^2$.

Таблица 3.21 – Протокол определения паропроницаемости штукатурных растворов

Вид штукатурного раствора	№ обр.	Δ m, мг	τ , ч	g, мг/(ч·м ²)	Rn, (м ² ·ч·Па)/мг	d, м	μ , мг/(м·ч·Па)
Известковый	1	410	4	13057	0,0725	0,01	0,138
	2	390	4	12420	0,0771	0,0116	0,150
	3	400	4	12739	0,0748	0,011	0,147
	4	400	4	12739	0,0748	0,0109	0,146
	5	370	4	11783	0,0822	0,0108	0,131
	6	400	4	12739	0,0748	0,0109	0,146
	Среднее значение						
Гипсовый	1	400	4	12739	0,0748	0,01	0,134
	2	400	4	12739	0,0748	0,0094	0,126
	3	380	4	12102	0,0796	0,012	0,151
	4	360	4	11465	0,0850	0,0115	0,135
	5	370	4	11783	0,0822	0,0108	0,131
	6	370	4	11783	0,0822	0,011	0,134
	Среднее значение						
Цементный	1	260	4	8280	0,1242	0,011	0,089
	2	300	4	9554	0,1054	0,012	0,114
	3	250	4	7962	0,1298	0,0106	0,082
	4	270	4	8599	0,1190	0,0105	0,088
	5	310	4	9873	0,1014	0,011	0,108
	6	320	4	10191	0,0977	0,0104	0,106
	Среднее значение						

Сопротивление паропроницанию образца вычисляют по формуле:

$$R_n = \frac{E - e}{g} - R_{n,с}, \quad (3.12)$$

где: E – давление насыщенного водяного пара в испытательном сосуде, Па (определяется по приложению В ГОСТ 25898-2020) и для температуры 20 °С составляет 2338 Па; e – давление водяного пара в камере вокруг сосуда, Па, определяемое как произведение давления насыщенного водяного пара на относительную влажность воздуха в камере, для относительной влажности 50% составляет 1169 Па; $R_{п.в.}$ – сопротивление паропроницанию воздуха, $(\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})/\text{мг}$, определяемое как:

$$R_{п.в.} = d_v / \mu_v, \quad (3.13)$$

где: d_v – расстояние от поверхности воды в испытательном сосуде до нижней поверхности образца), м; μ_v – паропроницаемость воздуха, равная 1,01 мг/(м·ч·Па).

Паропроницаемость материала μ , мг/(м·ч·Па), вычисляют по формуле:

$$\mu = d / R_n, \quad (3.14)$$

где: d – средняя толщина образца, м.

3.5.7. Свойства сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести

В результате проведенных экспериментальных исследований разработан эффективный состав сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести с применением ИПС и модифицирующих добавок с высокими эксплуатационными характеристиками (табл. 3.22). Штукатурный раствор отличается высокой водоудерживающей способностью и низкой расслаиваемостью за счет наличия в составе высокодисперсной гидратной извести, полученной в результате особых условий ее гашения в силосе совместно с песком. За счет формирования равномерно распределенной в объеме мелкокристаллической фазы CaCO_3 достигается высокая прочность затвердевшего штукатурного раствора. Путем оптимизации содержания в составе сухой смеси модифицирующих добавок обеспечивается высокая адгезионная прочность, низкое капиллярное водопоглощение и высокая паропроницаемость штукатурного покрытия.

Таблица 3.22 – Свойства сухой штукатурной смеси на основе воздушной
известки

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Значение
В сухом состоянии			
1	Наибольшая крупность зерен заполнителя	мм	0,63
2	Содержание зерен наибольшей крупности	%	0,8
Смесей, готовых к применению			
4	Подвижность (марка)	см	8-12 (П _{к3})
5	Водоудерживающая способность	%	97
6	Сохраняемость первоначальной подвижности	час	более 6
7	Расслаиваемость	%	5
8	Стойкость к образованию трещин		трещины отсутствуют
Затвердевшего раствора			
9	Средняя плотность	кг/м ³	1450
10	Прочность при сжатии в возрастет 28 суток (класс по прочности)	МПа	2,5
11	Прочность сцепления с основанием (адгезия)	МПа	0,37
12	Капиллярное водопоглощение	кг/(м ² ·мин ^{0,5})	0,4
13	Паропроницаемость	мг/(м·ч·Па)	0,143

3.6. Выводы по главе 3

1. Обоснована целесообразность применения в качестве основы для производства сухой штукатурной смеси известково-песчаной смеси – полуфабриката для производства силикатного кирпича, которая обусловлена тем, что при совместной гашении извести с песком в силосах или реакторах, в условиях исключаяющих свободное удаление пара, образуется высокодисперсный гидроксид кальция, что приводит к значительному улучшению технологических характеристик растворной смеси и эксплуатационных параметров затвердевшего раствора.

2. Установлено, что при одинаковом содержании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в составе штукатурной смеси, раствор на основе ИПС имеет прочность при сжатии в 2,5 раза выше прочности при сжатии раствора на основе извести-пушонки. Кроме того, растворная смесь обладает более высокой водоудерживающей способностью.

3. Определено, что содержание гидратной извести в составе ИПС в количестве 9,0-9,5% является оптимальным для получения штукатурного покрытия без дефектов и трещин, так как проектирование состава ИПС для формования силикатного кирпича осуществляется по принципу определения минимального требуемого количества извести, необходимого для того, чтобы покрыть поверхность всех частиц песка, без избытка.

4. С помощью рентгенофазового анализа изучены процессы, происходящие при твердении штукатурных растворов на основе воздушной извести. Установлено, что на первоначальном этапе схватывание и твердение обусловлено действием межмолекулярных сил, возникающих при сближении частиц в процессе испарения воды из раствора. Дальнейшее твердение обеспечивается кристаллизацией гидроксида кальция и последующей его карбонизацией. С помощью дифференциально-термического анализа определено, что к 28 суткам карбонизируется более 70% $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что

вероятно объясняется высокой проницаемостью штукатурного раствора. К возрасту двух лет достигается полная карбонизация штукатурного раствора.

5. На основании рентгенофазового анализа установлено, что в штукатурном растворе на основе ИПС формируются более мелкие кристаллы CaCO_3 , по сравнению с раствором на основе извести-пушонки, что объясняется более высокой дисперсностью Ca(OH)_2 в его составе. Это приводит не только к более высокой скорости карбонизации Ca(OH)_2 , что подтверждается данными дифференциально-термического анализа, но и сопровождается увеличением прочности, что объясняется формированием менее дефектной структуры по сравнению с крупнокристаллической.

6. Для регулирования свойств штукатурного раствора на основе ИПС необходимо применение модифицирующих добавок. Для увеличения прочности штукатурного раствора необходимо введение в состав редиспергируемого полимерного порошка, для увеличения адгезионной прочности – эфира целлюлозы, для обеспечения требуемого капиллярного водопоглощения – гидрофобизатора.

7. Изучено влияние добавок на технологические свойства штукатурной смеси и физико-механические характеристики затвердевшего штукатурного раствора. Установлено, что минимальное количество редиспергируемого полимерного порошка, необходимое для обеспечения требуемой прочности затвердевшего раствора для класса КП-II – 2,5 МПа, составляет 1,5%. Предельно допустимое содержание эфира целлюлозы, и гидрофобизатора составляет 0,2%.

8. Установлено, что модифицирующие добавки: редиспергируемый полимерный порошок, эфир целлюлозы и гидрофобизатор, оказывают взаимное влияние на свойства штукатурного раствора, поэтому выполнена оптимизация их содержания проведением трехфакторного эксперимента. Определено требуемое количество модифицирующих добавок в составе сухой штукатурной смеси, а именно:

- содержание гидрофобизатора – 0,17 %;
- содержание эфира целлюлозы – 0,09 %;
- содержание редуспергируемого полимера – 1,44 %.

9. Разработан состав сухой штукатурной смеси, класса по прочности КП-II, капиллярным водопоглощением $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$, адгезионной прочностью $0,37 \text{ МПа}$. Паропроницаемость штукатурного покрытия на основе воздушной извести составляет $0,143 \text{ мг}/(\text{м} \cdot \text{ч} \cdot \text{Па})$, что ниже, чем у аналогов на основе цемента и гипса.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА ГРИБОСТОЙКОСТИ ИЗВЕСТКОВОГО ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА

4.1. Влияние добавок на грибостойкость штукатурного раствора на основе воздушной извести

Оценку грибостойкости известкового штукатурного раствора проводили по сравнению с аналогами в виде штукатурных растворов на основе цемента и гипса. Также исследовали влияние модифицирующих органических добавок на грибостойкость известкового штукатурного раствора.

Были исследованы следующие составы:

Состав № 1 – Известково-песчаная смесь без добавок.

Состав № 2 – Гипсовая штукатурная смесь.

Состав № 3 – Цементная штукатурная смесь.

Состав № 4 – Известково-песчаная смесь с добавкой эфира целлюлозы (водорастворимая гидроксипропилметилцеллюлоза Headcel НРК100М) 0,17% от массы сухой смеси

Состав № 5 – Известково-песчаная смесь с добавкой релаксифицируемого полимерного порошка («Полипласт РП 1011») 1,44% от массы сухой смеси.

Для этого было изготовлено по 25 образцов от каждого состава (таблица 4.1), размером 40×40×20 мм (рис. 4.1).

По 10 образцов от каждого состава обрабатывали суспензией спор плесневых грибов и помещали в термостат с влажностью более 90% и температурой 30 °С, 10 образцов хранили в таких же условиях, но без заражения, в другом термостате и по 5 образцов – при комнатной температуре и влажности 40-50 %.

Таблица 4.1 – Список образцов, использованных для проведения испытаний
на устойчивость к плесневым грибам

Условия испытаний	Номера образца				
Обрабатывались суспензией плесневых грибов и хранились во влажной камере при 30 °С	1.4	2.12	3.3	4.1	5.2
	1.6	2.14	3.4	4.7	5.5
	1.7	2.17	3.5	4.10	5.6
	1.11	2.18	3.10	4.14	5.9
	1.12	2.19	3.12	4.17	5.10
	1.15	2.21	3.14	4.18	5.11
	1.16	2.22	3.20	4.19	5.17
	1.20	2.23	3.22	4.22	5.21
	1.21	2.24	3.23	4.23	5.24
Обрабатывались стерильной водопроводной водой и хранились во влажной камере при 30 °С	1.1	2.1	3.1	4.2	5.1
	1.2	2.2	3.2	4.3	5.3
	1.3	2.3	3.6	4.4	5.4
	1.5	2.4	3.7	4.5	5.7
	1.8	2.5	3.8	4.6	5.8
	1.9	2.6	3.9	4.8	5.12
	1.10	2.7	3.11	4.9	5.13
	1.13	2.8	3.13	4.11	5.14
	1.14	2.9	3.15	4.12	5.15
Хранились при комнатной температуре и влажности 40-50%	1.17	2.10	3.16	4.21	5.16
	1.18	2.11	3.17	4.13	5.18
	1.19	2.13	3.18	4.15	5.19
	1.22	2.15	3.19	4.16	5.20
	1.23	2.16	3.21	4.20	5.22
1.24	2.20	3.24	4.25	5.23	



Рис. 4.1. Внешний вид образцов штукатурного раствора:

а) известковый; б) гипсовый; в) цементный

Оценку развития плесневых грибов на образцах, зараженных тест-микроорганизмами, проводили путем визуального осмотра еженедельно, микроскопический анализ штукатурки – дважды – через 28 дней и через 6 месяцев после заражения.

Также определяли наличие/отсутствие жизнеспособных плесневых грибов в массе штукатурки методом культивирования на питательной среде. Для этого делали несколько соскобов с каждой стороны образца (для проведения испытаний в случайном порядке выбирали по 5 образцов каждого варианта), далее пробу усредняли и навеску 1 г размешивали в 9 мл стерильной воды. Полученную взвесь по 1 мл высевали глубинно на питательную агаризованную среду YpSS в чашки Петри. После затвердевания среды посеvy инкубировались при 30 °С. Колонии плесневых грибов считали, и рассчитывали количество спор на 1 г штукатурного раствора.

На протяжении исследования внешний вид образцов штукатурки, за исключением образцов состава 2, не изменялся. На образцах составов 1, 3, 4 и 5 внешних признаков развития плесневых грибов выявлено не было. На образцах состава 2 отмечено развитие колоний плесневых грибов (рис. 4.2).

Также, при микроскопическом анализе через 6 месяцев культивирования во влажной камере в образцах состава 2 был обнаружен спорообразующий мицелий плесневых грибов родов *Aspergillus* и *Penicillium*,

и жизнеспособные споры плесневых грибов через 28 суток и через 6 месяцев культивирования (рис. 4.3-4.7, таблица 4.2). В образцах остальных составов плесневые грибы обнаружены не были.



Рис.4.2. Торцевая поверхность образца № 2.18 через 6 месяцев культивирования во влажной камере – колонии плесневых грибов

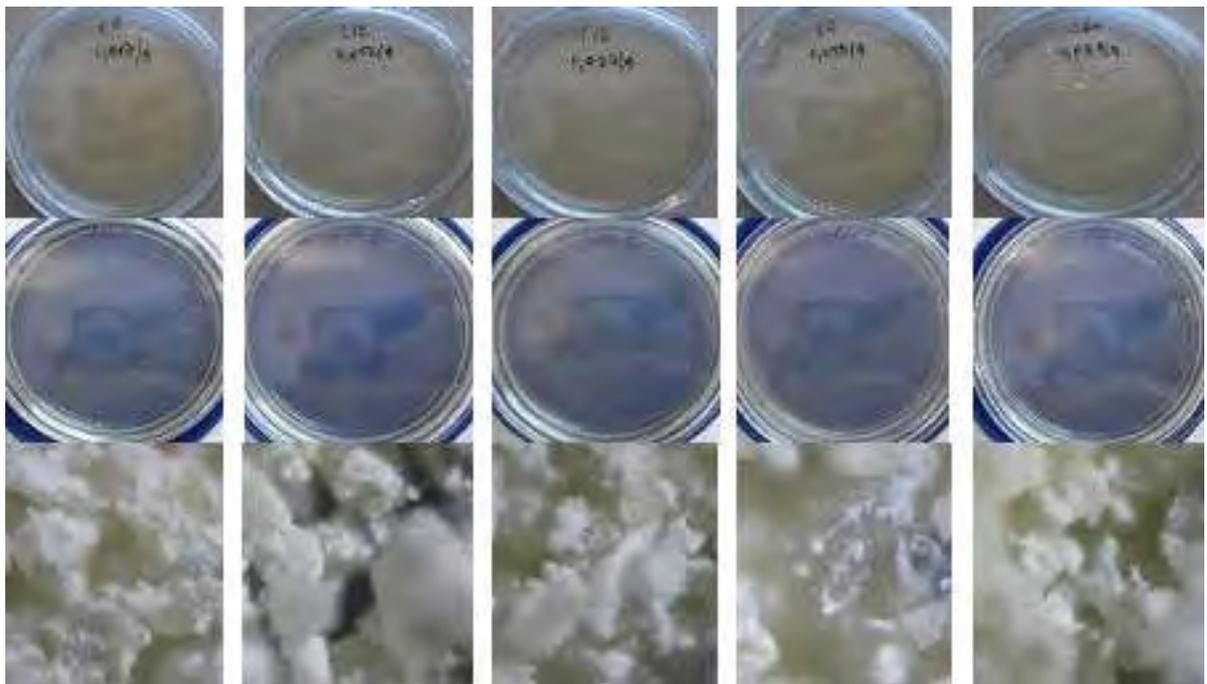


Рис. 4.3. Отсутствие плесневых грибов в образцах состава 1 через 28 суток и 6 месяцев культивирования во влажной камере

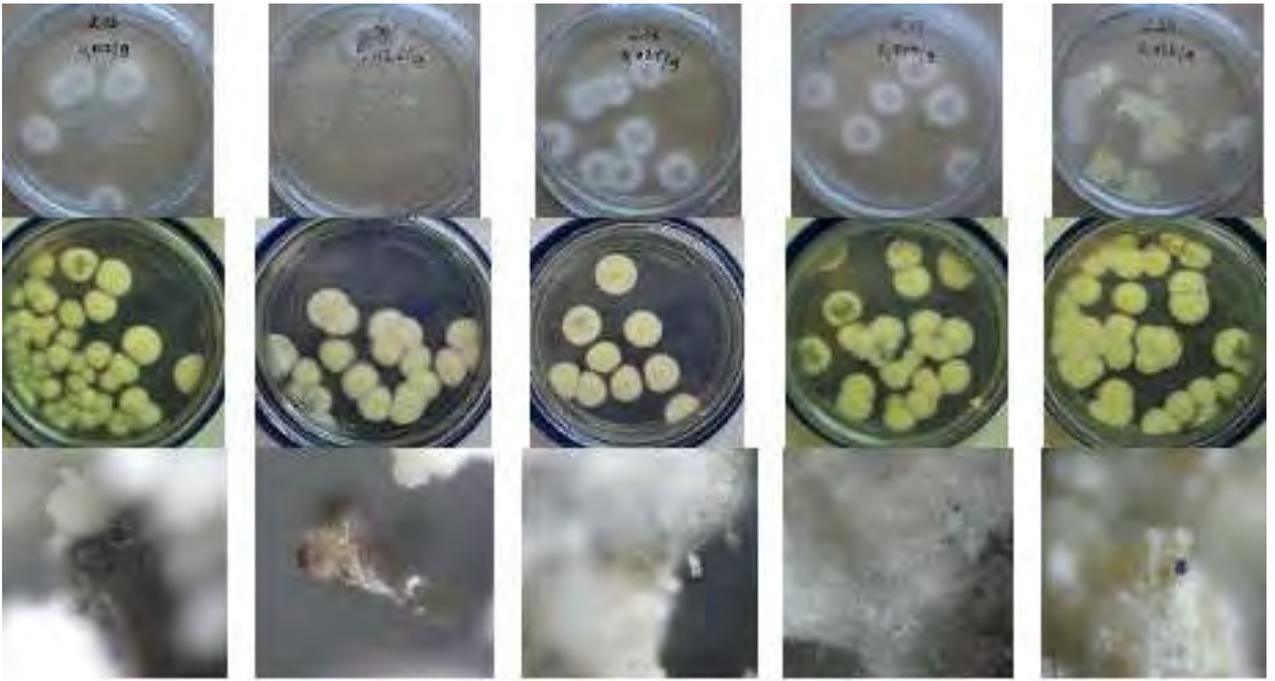


Рис. 4.4. Плесневые грибы в образцах состава 2 через 28 суток и 6 месяцев культивирования во влажной камере

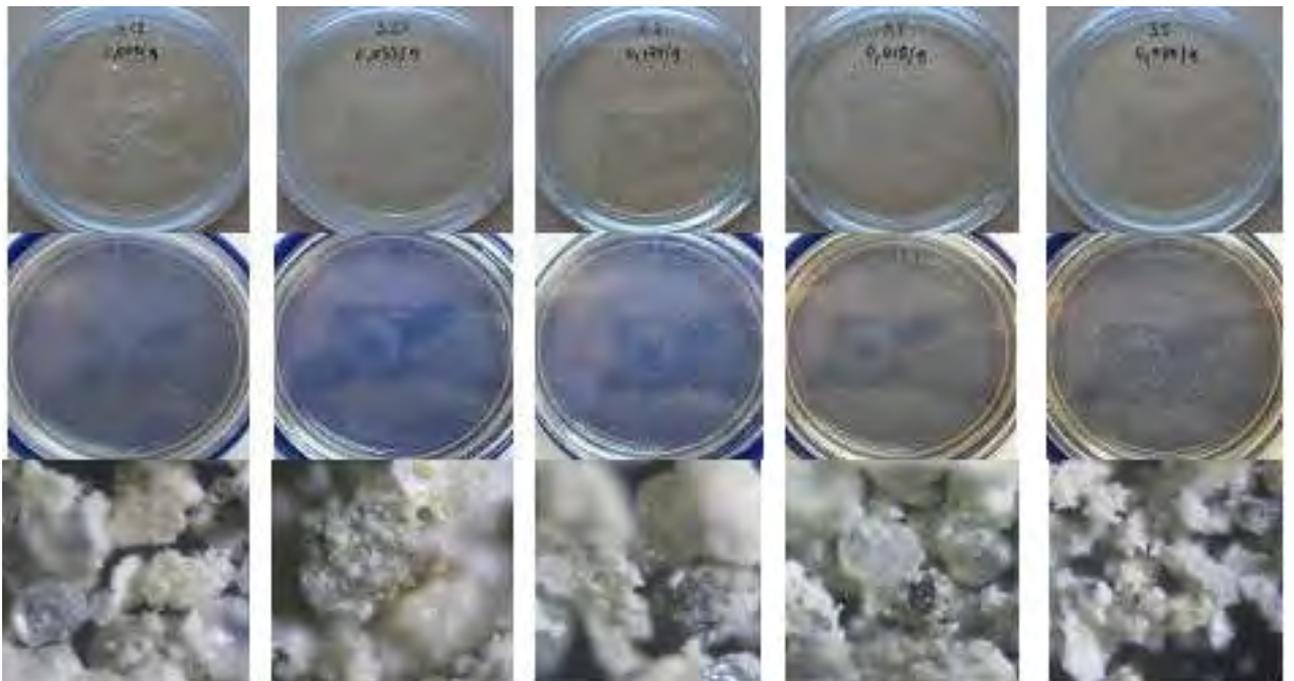


Рис. 4.5. Отсутствие плесневых грибов в образцах состава 3 через 28 суток и 6 месяцев культивирования во влажной камере

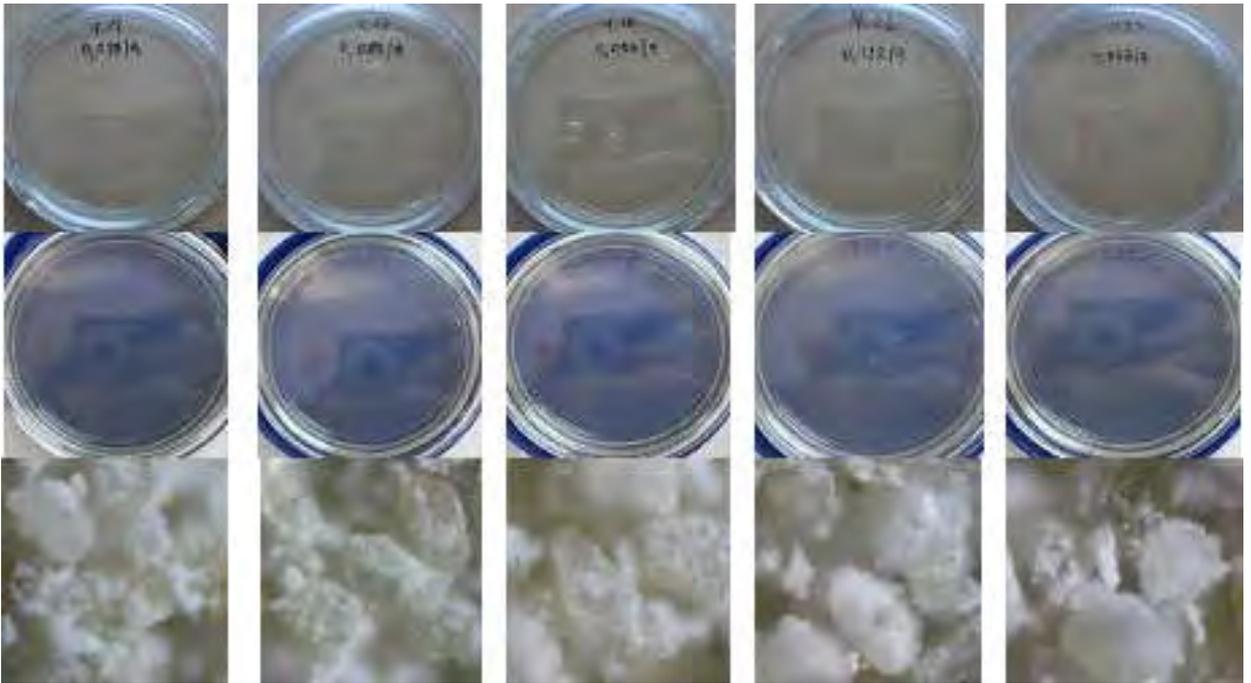


Рис.4.6. Отсутствие плесневых грибов в образцах состава 4 через 28 суток и 6 месяцев культивирования во влажной камере

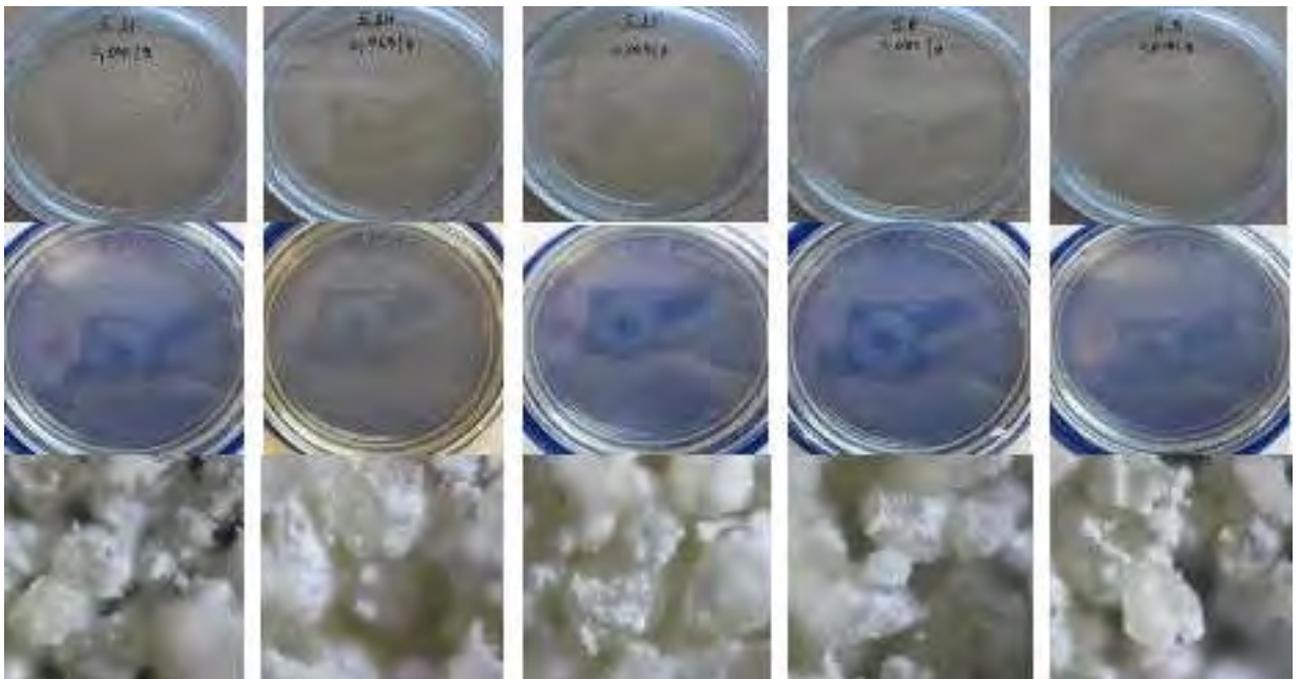


Рис. 4.7. Отсутствие плесневых грибов в образцах состава 5 через 28 суток и 6 месяцев культивирования во влажной камере

Таблица 4.2 – Численность плесневых грибов в образцах предварительно зараженного штукатурного раствора после длительного культивирования

Номер образца	Численность грибов, спор/г, ч/з		Номер образца	Численность грибов, спор/г, ч/з		Номер образца	Численность грибов, спор/г, ч/з	
	28 сут.	6 мес.		28 сут.	6 мес.		28 сут.	6 мес.
	1.4	-*		0	2.12		$5,3 \times 10^3$	$2,1 \times 10^4$
1.6	0	-	2.14	$6,9 \times 10^2$	-	3.4	0	0
1.7	0	0	2.17	$3,6 \times 10^3$	-	3.5	0	0
1.11	0	0	2.18	$2,2 \times 10^4$	-	3.10	0	0
1.12	0	0	2.19	-	$6,7 \times 10^3$	3.12	-	-
1.15	0	0	2.21	-	-	3.14	-	0
1.16	-	-	2.22	-	$3,8 \times 10^3$	3.20	-	-
1.20	-	-	2.23	-	-	3.22	0	-
1.21	-	-	2.24	$3,8 \times 10^3$	$1,5 \times 10^4$	3.23	-	-
1.25	-	-	2.25	-	-	3.25	-	-
4.1	-	0	5.2	-	0			
4.7	-	-	5.5	0	0			
4.10	0	0	5.6	0	-			
4.14	0	0	5.9	-	-			
4.17	0	0	5.10	-	0			
4.18	0	0	5.11	0	0			
4.19	0	-	5.17	0	0			
4.22	-	-	5.21	0	-			
4.23	-	-	5.24	-	-			
4.24	-	-	5.25	-	-			

* - численность не определяли

4.2. Оценка грибостойкости известкового штукатурного раствора в сравнении с гипсовой штукатуркой

Для ужесточения условий испытания известкового штукатурного раствора на устойчивость к плесневым грибам был проведен дополнительный эксперимент. Образцы известкового раствора состава №6 (таблица 4.3) и состава №2 (гипсовый раствор) были обработаны суспензией спор плесневых грибов, перенесены на питательную агаризованную среду YpSS и помещены в термостаты.

Таблица 4.3 – Состав известковой штукатурной смеси №6

№ п.п.	Наименование компонента	Содержание, %
1	Известково-песчаная смесь	97,8
2	Водорастворимая гидроксипропилметилцеллюлоза Headcel НРК100М	0,17
3	Редиспергируемый полимерный порошок («Полипласт РП 1011»)	1,44

После 84 суток хранения образцов было установлено сильное обрастание образца состава 2, тогда как образец состав 6 оставался визуально чистым (рис. 4.8). Микроскопические исследования подтвердили сильное прорастание структуры раствора мицелием грибов, в образце состава 6 следов грибов не обнаружено (рис. 4.9).

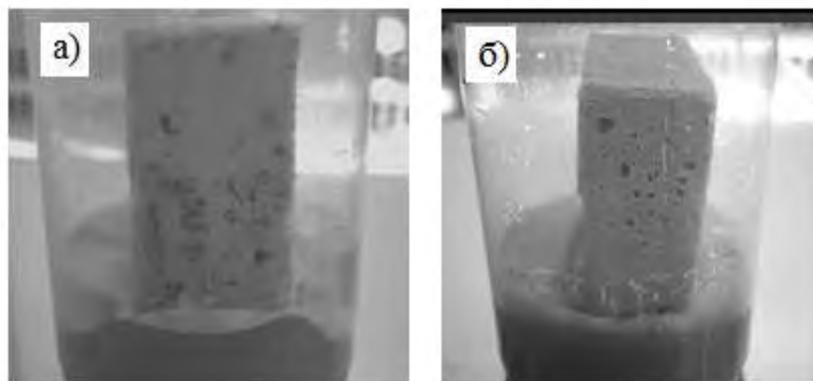


Рис. 4.8. Образцы штукатурных растворов после выдержки на питательной среде в течение 84 суток: а) гипсовый раствор; б) известковый раствор



Рис. 4.9. Микрофотографии штукатурного раствора, после хранения на питательной среде в течение 84 суток: а) гипсовый раствор; б) известковый раствор

4.3. Выводы по главе 4

1. Известковый штукатурный раствор обладает стойкостью к воздействию плесневых грибов, о чем свидетельствует то, что в образцах затвердевшего раствора, зараженных тест-культурами и предварительно обработанных питательной средой, уже через 28 суток хранения во влажной среде не обнаружены споры грибов.

2. При длительном хранении образцов затвердевшего штукатурного раствора на основе воздушной извести во влажной среде совместно с зараженными спорами грибов образцами гипсового штукатурного раствора не произошло их повторное заражение, даже через 6 месяцев.

3. Органические модифицирующие добавки, такие как эфир целлюлозы и релаксант поливинилпирролидон, в дозировках, соответствующих оптимальным значениям – 0,17% и 1,44%, соответственно, не снижают грибостойкость штукатурного раствора на известковой основе.

4. Образец цементной штукатурной смеси также обладает высокой стойкостью к плесневым грибам, в отличие от гипсовой штукатурной смеси, что подтверждает гипотезу о влиянии pH среды на грибостойкость материала.

5. Известковый штукатурный раствор обладает фунгицидными свойствами, так как после истечения 84 суток хранения зараженных тест-культурами образцов затвердевшего раствора в питательной агаризованной среде, следов колоний грибов в структуре раствора обнаружено не было.

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ СУХОЙ ИЗВЕСТКОВОЙ ШТУКАТУРНОЙ СМЕСИ И ТЕХНИКО- ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Технология производства и технико-экономическая эффективность рассмотрены на примере предприятия ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия» (ООО «ВЗКГ»).

ООО «ВЗКГ» расположен в п. Винзили (Тюменская область), и в состав предприятия входит технологическая линия по производству силикатного кирпича мощностью 120 млн. шт. усл. кирпича с перспективой увеличения до 140 млн. шт. усл. кирпича. Современные реалии строительного производства, ориентированные на увеличении доли монолитного строительства, не позволяют добиться реализации силикатной продукции в таком объеме. На сегодняшний момент потребность региона и ближайших областей в силикатных стеновых материалах составляет 80-90 млн. шт. усл. кирпича, поэтому целесообразно свободные мощности задействовать в производстве других видов продукции, например, известковой штукатурной смеси.

В качестве основы для сухой известковой штукатурной смеси предложено использовать известково-песчаную смесь (ИПС), которая используется для производства силикатного кирпича.

5.1. Промышленный эксперимент по производству сухой штукатурной смеси

5.1.1. Технология приготовления ИПС

Предприятие ООО «ВЗКГ» работает по классической технологии производства силикатного кирпича, т.е. с применением известково-кремнеземистого вяжущего (ИКВ).

Предприятие имеет собственное производство воздушной кальциевой извести. Известняк поступает на завод по железной дороге, обжигается в двух шахтных печах. Комовая известь и песок через промежуточные бункера питателем подаются на ленточный транспортер в пропорциях, необходимых для получения ИКВ с требуемой активностью. Далее смесь песка и извести подается в бункера шаровых мельниц. Измельченное до удельной поверхности 450-550 м²/кг ИКВ элеваторами подается в накопительный бункер. ИКВ и песок дозируются весовыми дозаторами непрерывного действия и подаются в двухвальный смеситель, туда же подается вода и, при необходимости (в зимнее время), пар.

Перемешанная ИПС подается в силоса объемом 60-65 т, где выдерживается до полного гашения извести, но не менее 1 часа. После силоса смесь проходит через стержневой смеситель для разбивки комочков ИПС, образовавшихся в силосе. Эта смесь и является основой для производства сухой штукатурной смеси. Существует возможность выводить отдельные силосы под производство сухой штукатурной смеси и регулировать активность массы в нужном диапазоне, а также, при необходимости, применять другие пески или смесь песков.

5.1.2. Технология производства сухой штукатурной смеси

Смешивание ИПС с добавками осуществлялось на смесительном узле, который на заводе ранее использовался для окрашивания ИПС перед подачей на прессы. Данная линия подавала ИПС только на одну технологическую линию, включающую два прессы. Позднее эти два прессы были демонтированы, а смесительный узел не функционировал. Смесительный узел (рис. 5.1) включает два двухвальных смесителя, бункер ИПС, два бункера добавок над каждым смесителем, систему весового дозирования.



Рис. 5.1. Смесительный узел

Для упаковки сухой смеси в бумажные мешки по 20 кг была смонтирована упаковочная линия с виброгрохотом над приемным бункером (рис. 5.2).



Рис. 5.2. Упаковочная линия

Известково-песчаная смесь на выходе из силоса имеет влажность 7-8%. Для производства сухой штукатурной смеси необходимо ее высушить до влажности менее 0,3%. Расстояние от места отвода ИПС с основной технологической линии до смесительного узла составляет 6,5 м, на данном участке смонтирован скребковый транспортер с паровой рубашкой и инфракрасными излучателями (рис. 5.3). При медленном, ступенчатом движении ИПС по транспортеру происходит ее высушивание. Однако данный участок сильно ограничивает производительность смесительного узла, поэтому необходимо совершенствование участка высушивания ИПС.



Рис. 5.3. Скребковый транспортер для подачи ИПС с одновременной сушкой

В дальнейшем планируется производить сушку ИПС в сушильном барабане. Однако в сушильном барабане создается разрежение и при сушке разнородных материалов, возможен унос более мелких и легких частиц, т.е. частиц извести. Эта проблема решается установкой батареи высокоэффективных циклонов, из которых через шлюзовый затвор известь будет с требуемой скоростью возвращаться в шнек выгрузки сухой ИПС.

5.2. Оценка себестоимости сухой штукатурной смеси

5.2.1. Расчет себестоимости на предприятии ООО «ВЗКГ»

Расчет себестоимости сухой штукатурной смеси на предприятии ООО «ВЗКГ» выполнен с учетом реальных затрат на производство на плановый объем 660 т штукатурной смеси в месяц и состоит из расчета себестоимости известково-песчаной смеси (таблица 5.1), расчета стоимости сырья на 1 т штукатурной смеси (таблица 5.2) и расчета себестоимости штукатурной смеси с учетом общехозяйственных расходов (таблица 5.3).

Таблица 5.1 – Себестоимость ИПС

Наименование статьи затрат	Ед. изм.	Содержание компонента	Стоимость за ед., руб.	Стоимость на 1 т, руб.
Известь не гашеная комовая	т	0,135	3290	444
Песок	м ³	0,7	260	182
Заработная плата рабочих				75
Прочие расходы				101
Итого				802

Таблица 5.2 – Стоимость сырья на 1 т штукатурной смеси

Наименование компонента	Количество на 1 т, кг	Стоимость за кг, руб.	Стоимость, руб.
ИПС	983	0,816	802
Добавка РП	14,4	310	4464
Добавка ЭЦ	0,9	415	374
Стеарат кальция	1,7	385	655
Стоимость сырья			6294

Таблица 5.3 – Себестоимость штукатурной смеси при плановом объеме производства 660 т в месяц

Статья затрат	Затраты в месяц, руб.	Стоимость на 1 т, руб.
Стоимость сырья		6294
Заработная плата рабочих	166 000	252
Прочие расходы		
Общехозяйственные расходы	17 513 227	
Процент распределения затрат общехозяйственных расходов (%)	4,00	
Итого основные общехозяйственные расходы, распределенные на цех штукатурной смеси	700 529	36
Итого		6582

5.2.2. Сравнение себестоимости сухой штукатурной смеси на основе ИПС с аналогами

Так как технология производства не отличается в зависимости от применяемого сырья, то сравнение себестоимости сухой штукатурной смеси выполнено только по сырьевым компонентам. В качестве образца сравнения принята известковая штукатурная смесь на основе извести-пушонки.

Для получения удовлетворительных технологических характеристик растворной смеси на основе извести-пушонки без применения специальных модифицирующих добавок требуется достаточно высокое содержание вяжущего [1] – 36-54%.

Минимальное содержание извести-пушонки в составе штукатурной смеси установлено в диапазоне 16-21 %. Однако, для достижения требуемых технологических и эксплуатационных характеристик данные составы содержат достаточно большой перечень добавок – пластификатор, крахмал картофельный, метакаолин, порообразователь, пропиленовую фибру и доломитовую муку [57] или пластификатор, органоминеральную добавку (глину модифицированную), редиспергируемый полимер [217]. Поэтому себестоимость сравнительного состава рассчитана при содержании извести-пушонки – 20% (таблица 5.4).

Себестоимость штукатурной смеси на основе ИПС на 14,4% меньше себестоимости штукатурной смеси на основе извести-пушонки.

Таблица 5.4 – Себестоимость сухой штукатурной смеси на основе извести-пушонки

Наименование компонента	Количество на 1 т, кг	Стоимость за т, руб.	Стоимость, руб.
Известь-пушонка	200	9000	1800
Песок	781,5	280	219
Добавка РП	14,4	310	4464
Добавка ЭЦ	0,9	415	374
Стеарат кальция	1,7	385	655
Заработная плата рабочих			75
Прочие расходы			101
Себестоимость			7688

5.2.3. Сравнение стоимости оштукатуривания 1 м² стены

На предприятии ООО «ВЗКГ» было оштукатурено 240 м² стен (рис. 5.4) в цехе по формованию силикатного кирпича с применением разработанной штукатурной смеси, на основании чего уточнен ее расход на 1 м².



Рис. 5.4. Оштукатуривание стен с применением известковой штукатурной смеси на предприятии ООО «ВЗКГ»

Так же на объекте «Жилой квартал в границах ул. Дамбовкая – Профсоюзная – р. Тура в г. Тюмени. Жилые дома с нежилыми помещениями ГП1 – ГП6. 1 этап строительства. Жилой дом с нежилыми помещениями ГП1, ГП4, ГП5(ГП4)» было выполнено оштукатуривание стен в объеме 800 м². Компанией ООО «Строительство. Бизнес. Инвестиции» сухая штукатурная смесь на основе извести была приобретена по стоимости 9 руб. на 1 кг.

Сравнение стоимости оштукатуривания стен с применением различных сухих штукатурных смесей (таблица 5.5) показало, что применение известковой штукатурной смеси позволяет снизить затраты на 1 м² стены на 19 % по сравнению с гипсовой штукатурной смесью и на 45 % по сравнению с штукатурной смесью на основе цемента.

Таблица 5.5 – Сравнение стоимости 1 м² штукатурного покрытия

Наименование штукатурки	Стоимость за 1 кг, руб.	Расход на 1 м ² , при толщине слоя 20 мм	Стоимость, руб.
На основе ИПС	9,0	26	234
Гипсовая	14,4	20	288
Цементная	12,5	34	425

По результатам оценки экономического эффекта по данному объекту определено, что экономия составила 54 руб. с 1 м² стены. Объем штукатурных работ по рассматриваемому объекту составляет 67 000 м², следовательно, предполагаемая экономия при замене сухой штукатурной смеси на основе гипса на штукатурную смесь на основе воздушной извести, составит 3618000 руб.

5.3. Выводы по главе 5

1. Предложены технологические решения по организации производства сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести на предприятии по производству силикатного кирпича. Технология производства включает отбор известково-песчаной смеси – полуфабриката для производства силикатного кирпича из силоса, последующую ее сушку, смешивание с определенным количеством добавок и фасовку.

2. Расчетная себестоимость 1 т сухой штукатурной смеси составляет 6582 руб. За счет применения в качестве основы для штукатурного состава ИПС достигается снижение себестоимости сухой штукатурной смеси на 14,4% по сравнению с аналогом на основе извести-пушонки

3. За счет более низкой стоимости и невысокого расхода сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести, стоимость 1 м² штукатурного покрытия ниже на 19 % по сравнению с гипсовой штукатурной смесью и на 45% по сравнению с штукатурной смесью на основе цемента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определено, что при гашении тонкомолотой извести в смеси с песком, образуется $\text{Ca}(\text{OH})_2$ со средним размером частиц 1,5 мкм, тогда как известь-пушонка имеет средний размер частиц 30 мкм. Установлено, что повышение дисперсности $\text{Ca}(\text{OH})_2$ приводит к ускорению процесса карбонизации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и формированию мелкокристаллической структуры кальцита.

2. Теоретически обоснована возможность производства сухой штукатурной смеси на основе ИПС заводом по производству силикатного кирпича, что обусловлено высокой дисперсностью $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в ее составе за счет особых условия гашения в силосе. Экспериментально подтверждено, что за счет применения в качестве основы для сухой строительной смеси ИПС достигается увеличение водоудерживающей способности растворной смеси на 9% и прочности при сжатии в 2,5 раза по сравнению со штукатурным раствором на основе извести-пушонки.

3. В результате трехфакторного эксперимента установлены математические модели, отражающие зависимость свойств штукатурного раствора, таких как прочность при сжатии, адгезионная прочность и капиллярное водопоглощение, от содержания модифицирующих добавок: редиспергируемого полимерного порошка, эфира целлюлозы и гидрофобизатора. В результате анализа полученных зависимостей, установлено требуемое количество модифицирующих добавок в составе сухой штукатурной смеси, а именно: содержание гидрофобизатора – 0,17 %; содержание эфира целлюлозы – 0,09 %; содержание редиспергируемого полимера – 1,44 %, необходимое для получения затвердевшего раствора со следующими характеристиками:

- класс по прочности КП-II ($R_{сж}=2,5$ МПа);
- капиллярное водопоглощение $0,4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}^{0,5})$;
- адгезионная прочность 0,37 МПа;

- паропроницаемость 0,143 мг/(м·ч·Па).

4. Доказана высокая стойкость штукатурного раствора на основе воздушной извести по отношению к действию плесневых грибов. Установлено, что модифицирующие добавки органического происхождения, такие как РП в количестве 1,44% и ЭЦ в количестве 0,09% не снижают грибостойкость штукатурного раствора на основе воздушной извести.

5. Предложены технологические решения по организации производства сухой штукатурной смеси на основе воздушной извести на предприятии по производству силикатного кирпича. Проведены промышленные испытания, выпущена пробная партия, по результатам чего определена ориентировочная себестоимость, которая составляет 6,6 руб. за 1 кг. По результатам оштукатуривания 800 м² стен на строительном объекте в г. Тюмени, установлено, что при стоимости сухой штукатурной смеси 9 руб. за 1 кг, снижение стоимости 1 м² штукатурного покрытия составляет 54 руб. по сравнению с ближайшим аналогом, что подтверждено актом внедрения.

Список сокращений и условных обозначений

ССС – сухая строительная смесь

ИКВ – известково-кремнеземистое вяжущее

ИПС – известково-песчаная смесь

ЭЦ – эфир целлюлозы

РП – ретиспергируемый полимерный порошок

ГФ – гидрофобизатор

$R_{сж}$ – прочность при сжатии, МПа

$R_{ад}$ – адгезионная прочность, МПа

W_k – капиллярное водопоглощение, $кг/(м^2 \cdot мин^{0,5})$

D – размер кристаллита по направлению h-k-l, мкм

λ – длина волны излучения, мкм

θ – угол рассеяния, рад.

β – физическое уширение линии на дифрактограмме (в шкале 2θ), рад.

$R_{п.в.}$ – сопротивление паропрооницанию воздуха, $(м^2 \cdot ч \cdot Па)/мг$

μ – паропрооницаемость материала, $мг/(м \cdot ч \cdot Па)$

Список литературы

1. Патент № 2344104 Российская Федерация: МПКС04В 28/20(2006.01). Сырьевая смесь для приготовления кладочных и штукатурных растворов: № 2007104911/03 : заявл. 08.02.2007 : опубл. 20.01.2009 / Лузин В.П., Лузина Л.П.; заявитель ФГУП Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных ископаемых. – 6 с. Патент № 2262495 Российская Федерация: МПКС04В 28/04, С04В 111/20 (2006.01). Сухая строительная смесь : № 2004116903/03 : заявл. 03.06.2004 : опубл. 20.10.2005 / Титов В.М., Воронин А.В., Шатов А.А., Гареев А.Т., Феоктистова Н.Н., Захаров В.А., Краснов В.А. ; заявитель ОАО «Сода». – 7 с.
2. Логанина, В.И. Оценка устойчивости к сползанию отделочного слоя на основе сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Э.Р. Акжигитова // Сухие строительные смеси. 2013. № 1. С. 20-22.
3. Тур, Э.А. Исследование минеральных материалов, использованных при постройке дворцового комплекса Сапегов в Ружанах / Э.А. Тур, С.В. Басов // Вестник Брестского государственного технического университета. Строительство и Архитектура. 2014. №1 (85). С. 88-91.
4. Значко-Яворский, И.Л. Очерки истории вяжущих веществ от древнейших времен до середины XIX века / И.Л. Значко-Яворский. – Л.: Издательство Академии наук СССР, 1963. – 496 с.
5. Лукас, А. Материалы и ремесленные производства Древнего Египта / А. Лукас. – Перевод с английского Б.Н. Савченко. – М.: Издательство иностранной литературы, 1958. – 408 с.
6. Геологический словарь. В трех томах. Издание третье, перераб. и доп. / Гл. ред. О.В. Петров. – Т.1. А-Й. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2010. – 432 с.

7. Шуази, О. Всеобщая история архитектуры. От доисторической эпохи до романской архитектуры / О. Шуази; пер. с франц. Н.С. Курдюкова. – Москва: Издательство АСТ, 2019. – 512 с.

8. Ullman, M. The early Pre-Pottery Neolithic B site at Nesher-Ramla Quarry, Israel / M Ullman, L Brailovsky, H.C. Schechter, L Weissbrod, R Zuckerman-Cooper, M.B. Toffolo, V. Caracuta, E. Boaretto, S. Weineri, J. Abramov, D.E. Bar-Yosef Mayer, V. Wolff Avrutis, S. Kol-Ya'kov, A. Frumkin. 2021. No 624. P. 148-167.

9. Кукс, Ю.М. История развития фрески (часть 2. Происхождение технологии чисто известковых штукатурных оснований фрески) / Ю.М. Кукс, Т.А. Лукьянова // Перспективы науки и образования. 2014. № 5 (11). С. 127-136.

10. Юнг, В.Н. Введение в технологию цемента / В.Н. Юнг. – М.: Госстройиздат, 1938. – 404 с.

11. Кинд, В.А. Строительные материалы. Их получение, свойства и применение / В.А. Кинд, С.Д. Окорочков. – Л.: Госстройиздат, 1934. – 682 с.

12. Тревер К.В. Очерки по истории культуры древней Армении:(II в. до н. э. – IV в. н. э.). – АН СССР, 1953.

13. Аракелян Б.Н. Раскопки крепости Гарни: (Основные результаты работ Гарнийской археологической экспедиции Института истории АН Армянской ССР в 1949-1950 гг.). – 1951.

14. Gourdin, W.H. The Beginnings of Pyrotechnology: Neolithic and Egyptian Lime Plaster / W.H. Gourdin, W.D. Kingery // Journal of Field Archaeology. Vol. 2. No. 1/2 (1975). P. 133-150. <http://www.jstor.org/stable/529624>.

15. Лобода, А.Ю. Исследование пигментов и связующих красочных слоев росписей храма X-XIII вв. на плато Эски-Кермен / А.Ю. Лобода, И.Н. Трунькин, Р.Д. Светогоров и др. // Материалы по археологии, истории и этнографии Таврии. 2021. №26. С. 156-174. DOI: 10.37279/2413-189X.2021.26.156-174.

16. Наср, Н. Настенная живопись карфагена. / Н. Наср // Образовательные стратегии и инициативы в этнокультурном развитии регионов большого Алтая: материалы международной научно-практической конференции. Под ред. И.Р. Лазаренко. – Барнаул: Алтайский государственный педагогический университет. 2016. С. 112-119.

17. Винокуров, Н.И. Новые данные о конструкции ранней цитадели городища Артезиан в Крымском Приозовье / Н.И. Винокуров // Боспорские исследования. 2017. №35. С. 180-207.

18. Лукьянова, Т.А. Технологические особенности фресковой живописи XVI века на примере росписей Собора Успения Пресвятой Богородицы Успенского монастыря г. Свяжска / Т.А. Лукьянова // Наука и современность. 2011. №13-1. С. 83-94.

19. Исаева, О.А. Технические и стилистические особенности монументальной живописи Мезоамерики / О.А. Исаева // Актуальные проблемы монументального искусства. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Под редакцией Д.О. Антипиной. – Санкт-Петербург: СПбГУПТД, 2021. С. 123-130.

20. Кукс, Ю.М. История развития фрески (Часть 1. Древнерусская фреска. Две трансформации) / Ю.М. Кукс, Т.А. Лукьянова // Перспективы науки и образования. 2014. № 4 (10). С. 127-135.

21. Иванова, Ю.В. Нузальская часовня в Северной Осетии. История исследования и реставрации архитектуры и стенописи / Ю.В. Иванова // II Международный форум реставраторов «Реставрация: теоретические проблемы и практическая деятельность». Коллективная монография на основе материалов международной научной конференции. – Москва: 2020. С. 105-110.

22. Кирби, Р. История инженерного дела. Важнейшие технические достижения с древних времен до XX столетия / Р. Кирби, А. Дарлинг, С.

Уитингтон; Пер. с англ. Л.А. Игоревского. – М.: ЗАО Центрполиграф, 2021. – 575 с.

23. Юнг, В.М. Технология вяжущих веществ / В.М. Юнг, Ю.М. Бутт, В.Ф. Журавлев, С.Д. Огороков. – М.: Государственное издательство литературы по строительным материалам, 1952. – 600 с.

24. Логанина, В.И. Сухие строительные смеси для реставрации зданий исторической застройки / В.И. Логанина // Региональная архитектура и строительство. 2015. № 3 (24). С. 34-42.

25. Любомирский, Н.В. Петрографическая характеристика материалов отделки зданий культурного наследия г. Севастополя послевоенной постройки 40-50-х годов XX века / Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин, А.С. Бахтин // Строительство и техногенная безопасность. 2020. № 19 (71). С. 45-64.

26. Муртазаев, С.А.Ю. Анализ технологии штукатурных работ ручным и механизированным способами / С.А.Ю. Муртазаев, А.С. Успанова, М.Р. Хаджиев // Вестник ГГНТУ. Технические науки. 2020. Т. 16. №3(21). С. 59-64.

27. Попов, Д.П. Сравнение технологий производства внутренних штукатурных работ ручным и механизированными способами / Д.П. Попов, С.И. Вахрушев // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2019. Т. 2. С. 189-195.

28. Белова, Т.К. Механизация штукатурных работ при строительстве общественных зданий / Т.К. Белова, А.И. Альбакасов, А.В. Анацкая // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф. (с междунар. участием) – Оренбург: ОГУ, 2020. С. 33-36.

29. Тишкин, Д.Д. Механизированная технология штукатурных работ при отделке помещений растворами на основе сухих смесей: специальность 05.23.08 «Технология и организация строительства»: автореф. дис. канд. техн. наук / Тишкин Дмитрий Дмитриевич; ГОУ ВПО «Санкт-

Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – СПб, 2011. – 23 с. – Место защиты: ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

30. Хайкович, Д.М. Технология нанесения растворных смесей при производстве штукатурных работ механизированным способом: специальность 05.23.08 «Технология и организация строительства» :дис. к-та. техн. наук / Хайкович Дмитрий Михайлович ; ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет». – СПб, 2005. – 204 с. – Место защиты: ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет».

31. Беликова, А.С. Выбор подходящего способа штукатурных работ для строительных объектов / А.С. Беликова // IV Международный студенческий строительный форум – 2019. Сборник докладов (К 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова). В 2-х томах. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. С. 192-197.

32. Давиденко, А.Ю. Оценка применения механизированного способа штукатурных работ в современном мире / А.Ю. Давиденко, А.А. Антипова // Наука молодых – будущее России. сборник научных статей 3-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых: в 6 томах. – Курск: 2018. С. 105-108.

33. Ахтямова, А.С. Механизированная технология штукатурных работ при отделке помещений растворами на основе сухих смесей / А.С. Ахтямова / Строительные материалы, конструкции и технологии XXI века. Межвузовский сборник научных трудов. Под редакцией М.Б. Пермякова. – Магнитогорск: ФГБОУ ВО МГТУ, 2019. С. 71-77.

34. Трубкин, И.С. Механизированная технология штукатурных работ при отделке помещений растворами на основе сухих смесей / И.С. Трубкин, А.С. Ахтямова // В книге: Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. Тезисы докладов 78-й международной научно-технической конференции.– Южно-Сахалинск: ДВГУПС, 2020. С. 476.

35. Кавардаков, В.Н. Современные технологии и механизация строительных штукатурных работ / В.Н. Кавардаков // Молодой ученый. 2020. № 18 (308). С. 57-60.

36. Лагута, И.В. Экономический эффект при механизированном способе штукатурных работ / И.В. Лагута, А.Ю. Давиденко, А.А. Антипова // В сборнике: Проблемы развития современного общества. Сборник научных статей 4-й Всероссийской научно-практической конференции. Юго-Западный государственный университет. – Курск: 2019. С. 149-150.

37. Бурак, Е.Э. Исследование процесса нанесения штукатурного раствора на обрабатываемую поверхность механизированным способом / Е.Э. Бурак, Ю.А. Воробьева, С.П. Егорова // Жилищное хозяйство и коммунальная инфраструктура. 2017. № 3 (2). С. 70-76.

38. Логанина, В.И. Нормативная обеспеченность качества сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Е.И. Куимова, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. 2018. № 1 (36). – С. 37-41.

39. Денисов, Г.А. Производство и использование сухих строительных смесей / Г.А. Денисов // Сухие строительные смеси. 2011. №1. С. 14-17.

40. Остроух, А.В. Анализ современного состояния автоматизации процесса производства сухих строительных смесей / А.В. Остроух, А.В. Пью, Н.Е. Суркова // Механизация строительства. 2014. № 7 (841). С. 59-63.

41. Ярыгин, А.А. Роль сухих смесей в современном строительстве / А.А. Ярыгин, И.А. Щербинин, В.А. Уваров, Д.В. Карпачев // Новые материалы и технологии в машиностроении. 2006. № 6. С. 126-128.

42. Павленко, О.А. Сухие строительные смеси для штукатурных работ / О.А. Павленко, Ю.А. Дементьев, А.С. Кучерова, Д.А. Сумской // Молодежь и научно-технический прогресс. IX международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: в 4 томах. – Губкин: 2016. С. 119-123.

43. Дергунов, С.А. Сухие строительные смеси (состав, технология, свойства): Учебное пособие / С.А. Дергунов, С. А. Орехов – Оренбург: ОГУ, 2012 – 106 с.

44. Корнеев, В.И. Сухие строительные смеси (состав, свойства): Учебное пособие / В.И. Корнеев, П.В. Зозуля – Москва: «ООО РИФ «Стройматериалы»», 2010. – 320 с.

45. Набасов, А.П. Штукатурные сухие смеси на основе цемента / А.П. Набасов, Е.В. Гурова // Архитектура, строительство, транспорт. Материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ» – Омск: ФГБОУ ВО СибАДИ, 2015. С. 530-534.

46. Дементьев, Ю.А. Современные сухие штукатурные материалы / Ю.А. Дементьев, О.А. Павленко, А.С. Кучерова, Д.А. Сумской // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Международная научно-практическая конференция, посвященная 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. С. 229-235.

47. Логанина, В.И. Использование зольных алюмосиликатных микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки / В.И. Логанина, М.В. Фролов Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2017. №3. С. 6-8.

48. Патент № 2309133 Российская Федерация: МПКС04В 38/00 (2006.01). Сухая смесь для штукатурного раствора по ячеистому бетону : № 2006105946/03 : заявл. 26.02.2006: опубл. 27.10.2007 / Черных В.Ф., Удодов С.А., Дуров А.Е. ; заявитель ГОУВПО «Кубанский государственный технологический университет». – 6 с.

49. Фролов, М.В. Использование стеклянных полых микросфер в известковых сухих строительных смесях для отделки газобетона / М.В. Фролов // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. Сборник докладов международной научно-практической

конференции, посвященной 70-летию заслуженного деятеля науки РФ, члена-корреспондента РААСН, доктора технических наук, профессора Валерия Станиславовича Лесовика: В 3 частях. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2016. С. 234-237.

50. Парута, В.А. Отделка зданий, возведенных из автоклавного газобетона / В.А. Парута, Е.В. Брынзин, О.В. Сиротин // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013.№4(171). С. 36-43.

51. Патент № 2731482 Российская Федерация, МПК С04В41/50 (2019.08), С04В28/10 (2019.08). Штукатурный состав для отделки газобетона: № 2019112686: заявл. 25.04.2019 : опубл. 03.09.2020 / Логанина В.И., Фролов М.В.; заявитель ФГБОУ ВО ПГУАС. – 9 с.

52. Григорьев, Д.С. Исследование влияния способов формирования порового пространства на свойства saniрующей штукатурки / Д.С. Григорьев // Вестник гражданских инженеров. 2017. № 3 (62). С. 139-145.

53. Харитонов, А.М. Штукатурный состав для комплексной защиты кирпичных стен от солевой коррозии / А.М. Харитонов, В.А. Николаев // Инновации и инвестиции. 2019. № 3. С. 230-234.

54. Берестяный, А.Л. Система реставрационных штукатурок Siltek / А.Л. Берестяный // Сухие строительные смеси. 2012. № 1. С. 22-23.

55. Záleská, M. Thermal, mechanical and structural properties of mortars for rehabilitation of buildings contaminated by chlorides / M. Záleská, L. Zemanová, M. Pavlíková, and Z. Pavlík // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2018. Т. 1988. №. 1.

56. Черевко, С.А. Известковые сухие смеси для реставрации / С.А. Черевко, А.М. Харитонов, Ю.В. Пухаренко, Ю.П. Панибратов, Т.М. Петрова // Цемент и его применение. 2021. №5. С. 66-69.

57. Патент № 2627333 Российская Федерация, МПК С04В 28/20 (2006.01), С04В 38/20 (2006.01), С04В 111/72 (2006.01). Реставрационная сухая смесь : № 2016127301 : заявл. 06.07.2016 : опубл. 07.08.2017 / Шангина Н.Н., Харитонов А.М. – 6 с.

58. Сумской, Д.А. Композиционное вяжущее для реставрации архитектурных и исторических объектов / Д.А. Сумской, Ю.А. Дмитриев, И.В. Лашина, Ю.А. Дементьев // Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 645-654.
59. Логанина, В.И. Штукатурные составы для реставрационных работ с применением окрашенных наполнителей / В.И. Логанина, Л.В.Макарова // Региональная архитектура и строительство. 2009. № 1. С. 38-40.
60. Шангина, Н.Н. Особенности производства и применения сухих строительных смесей для реставрации памятников архитектуры / Н.Н. Шангина, А.М. Харитонов // Сухие строительные смеси. 2011. №4. С. 16-19.
61. Морозова, Е.В. Искусство сохранять традиции / Е.В. Морозова // Вестник. Зодчий. 21 век. 2016. № 2-2 (59). С. 68-69.
62. Антоненко, Н.Н. Известь как вяжущее в ремонтных составах / Н.Н. Антоненко, С.А. Орехов, С.В. Сериков, А.К. Мазепа // Современные научные исследования: теория, методология, практика. Сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции. – Уфа, 2021. С. 279-284.
63. Zeng, Y. A case study and mechanism investigation of typical mortars used on ancient architecture in China / Y. Zeng, B. Zhang, X. Liang // Thermochimica Acta. 2008.Т. 473. №. 1-2. С. 1-6.
64. Dai, S. Lime-based materials and practices for surface refitting of cultural heritage / S. Dai, J. Wang, Y. Hu and D. Zhang // Advanced Materials Research. 2010. Т. 133. С. 1241-1246.
65. Jang, J. Performance evaluation of commercial nanolime as a consolidant for friable lime-based plaster / J. Jang, F. G. Matero // Journal of the American Institute for Conservation. 2018.Т. 57. №. 3. С. 95-111.

66. Kennedy, C.J. Studies of hair for use in lime plaster: Implications for conservation and new work / C.J. Kennedy, W.A. Revie, L. Troalen, M. Wade, T.J. Wess // Polymer degradation and stability. 2013. Т. 98. №. 4. С. 894-898.

67. Izaguirre, A. Effect of water-repellent admixtures on the behaviour of aerial lime-based mortars / A. Izaguirre, J. Lanas, J.I. Alvarez // Cement and concrete research. 2009. Т. 39. №. 11. С. 1095-1104.

68. Borsoi, G. Nanostructured lime-based materials for the conservation of calcareous substrates / G. Borsoi // A+ BE Architecture and the Built Environment. 2017. №. 8. P. 1-200.

69. Tribulova, T. Preparation of mortars for restoration of architectural monuments / T. Tribulova, P. Kotlik // Ceramics-Silikaty. 2012. V. 56. №. 3. P. 269-279.

70. Vejmelková, E. Mechanical, hygric and thermal properties of innovative renovation renders / E. Vejmelková¹, M. Keppert¹, P. Máca, R. Černý // WIT Transactions on The Built Environment. 2011. Т. 118.С. 555-563.

71. Кандаев, А.В. Сравнительный анализ водостойкости реставрационных растворов /А.В. Кандаев, В.Н. Губарь // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. 2020. №4(144). С. 91-95.

72. Строкова, В.В. Штукатурные покрытия как регулятор параметров микроклимата в помещении; обзор теоретических и экспериментальных исследований /В.В. Строкова, М.Н. Сивальнева, С.В. Неровная, Б.Б. Второв // Строительные материалы. 2021. №7. С. 32-72.

73. Гениатулина, И.А. Экологичность и безопасность строительных материалов / И.А. Гениатулина // Инновации и современные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции. Сборник статей по материалам Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – Курган: ФГБОУ ВО Курганская ГСХА, 2022. С. 361-365.

74. Панкратова, Д.А. Безопасность и экологичность современных строительных материалов. Дерево. / Д.А. Панкратова, А.П. Белова, О.Е.

Борисова, Д.В. Долгушин // Инновационные методы проектирования строительных конструкций зданий и сооружений. Сборник научных трудов 2-й Всероссийской научно-практической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2020. С. 202-204.

75. Кабанова, М.К. Основные критерии – безопасность и долговечность строительных материалов / М.К. Кабанова, С.А. Токарева, П.П. Уваров // Строительные материалы. 2017. №1-2. С. 90-93.

76. Туманов, Д.К. Проблематика использования строительных материалов: экологичность, сертификация, фальсификация. / Д.К. Туманов, А.А. Сергеева, М.В. Туманова // Технология и организация строительного производства. 2013. №4. С. 32-35.

77. Зима, А.Г. Экологичность отделочных строительных материалов, критерии выбора (с точки зрения воздействия на организм человека) / А.Г.Зима // Заметки ученого. 2020. №10. С. 253-271.

78. Заводсков, Н.А. Эколого-экономические особенности строительных материалов / Н.А. Заводсков // Colloquium-Journal. 2019. №26-9(50). С. 26-29.

79. Дьяконова, Ю.Е. Использование экологически чистых материалов в строительстве / Ю.Е. Дьяконова, А.С. Харкевич // Инвестиции, строительство, недвижимость как драйверы социально-экономического развития территории и повышения качества жизни населения. Материалы X Международной научно-практической конференции. В 2-х частях. Под редакцией Т.Ю. Овсянниковой, И.Р. Салагор. – Томск: ТГАСУ, 2020. С. 653-657.

80. Насонова, А.Е. Анализ систем экологически обоснованного выбора строительных материалов / А.Е. Насонова, В.П. Князева, П.М. Жук // Экология урбанизированных территорий. 2012. №4. С. 93-97.

81. Чернышева, Н.В. К вопросу об эффективности «зеленого строительства» / Н.В. Чернышева, М.Ю. Дребезгова, С.В. Шаталова, Е.Н. Лесниченко, А.А. Крынин // Актуальные вопросы охраны окружающей

среды. Сборник докладов Всероссийской научно-технической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2018. С. 462-466.

82. Шеина, С.Г. Зеленые технологии при строительстве школ / С.Г. Шеина, Н.С. Ларин // Строительство и техногенная безопасность. 2022. №S1. С. 175-182.

83. Захарова, М.Ю. Строительные материалы для экологически безопасных строительных систем /М.Ю. Захарова, Ю.В. Денисова, И.А. Дегтев // Университетская наука. 2022. №1(13). С. 50-54.

84. Ручнова, В.Р. Влияние современных строительных материалов на экологию жилья / В.Р. Ручнова // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых - 2022. Сборник научных статей 11-й Международной молодежной научной конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2022. С. 520-522.

85. Черняева, И.В. Вопросы экологической безопасности современных строительных и отделочных материалов / И.В. Черняева // Безопасный и комфортный город. Сборник научных трудов по материалам III Всероссийской научно-практической конференции. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2019. С. 292-287.

86. Рочев, В.П. Исследование взаимосвязи между уровнем успеваемости и частотой аллергии у студентов ВУЗ / В.П. Рочев, Л.Ф. Тюлькина, М.О. // Югова Уральский медицинский журнал. – 2013. - № 6. – С.139-144.

87. Cascione, V. Comparison of moisture buffering properties of plasters in full scale simulations and laboratory testing / V. Cascione, D. Maskell, A. Shea, P. Walker, M. Mani // Construction and Building Materials. 2020. Т. 252. С. 119033.

88. Стоп-аллергия: комплекс известковых штукатурок и шпаклевок от Quick-Mix для внутренних работ // Сухие строительные смеси. 2020. № 1.С. 10-11.

89. Yu, S. Integrated methodology for evaluation of energy performance of the building enclosures: Part 5 – application of the proposed hygrothermal

characterization / S.Yu., M. Bomberg, X. Zhang // Journal of Building Physics. 2012. T. 36. №. 2. С. 178-197.

90. Kua H.W., Choo S.Y.G. The Use of Biochar-Coated Lime Plaster Pellets for Indoor Carbon Dioxide Sequestration / H.W. Kua, S.Y.G. Choo // Biochar from Biomass and Waste. – Elsevier, 2019. С. 305-317.

91. Singh, S. The study of some common plaster coating materials and plastic foils as a barrier to radon / S. Singh, J. Singh, L. Singh // Radiation measurements. 2005. T. 40. №. 2-6. С. 673-677.

92. Kočí, J. Computational analysis of energy performance of advanced moisture responsive plasters / J. Kočí, R. Černý // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing, 2021. T. 2343. №. 1.

93. Zemanova, L. Hygric properties of cement-lime plasters with incorporated lightweight mineral admixture / L Zemanova, Ja Pokorny, M Pavlikova, Z Pavlik // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. T. 603. №. 2. С. 022046.

94. Aversa, P. Hemp-lime buildings: thermo-hygrometric behaviour of two case studies in North and South Italy / P. Aversa, A. Marzo, C. Tripepi, S. Sabbadini, G. Dotelli, P. Lauriola, C. Moletti, V.A.M. Luprano // Energy and Buildings. 2021. T. 247. С. 111147.

95. Brás, A. Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: Thermal performance and cost evaluation / A. Brás, F. Gonçalves, P. Faustino // Energy and Buildings. 2014. T. 72. С. 296-308.

96. Известковая штукатурка МКЕ – комфорт от природы // Сухие строительные смеси. 2018. №2. С. 8-9.

97. Франке, Р. Пригласите природу в ваш дом: известковая штукатурка МКЕ / Р. Франке // Сухие строительные смеси. 2012. №3. С. 11-13.

98. Самойлов, А.А. Влияние отделочной системы BAUMIT EFFECTO на влажностный режим кладки из автоклавного газобетона / А.А. Самойлов // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. №2(181). С. 39-41.

99. BAUMIT. Инновации или классика? Потенциал синтеза в области реставрации // Вестник. Зодчий. 21век. 2021.№1(78).С. 76-77.
100. El-Turki, A. Environmental cycling and laboratory testing to evaluate the significance of moisture control for lime mortars / A. El-Turki, J.B. Richard, H. Stafford, W.J. Allen, G.C. Allen // Construction and Building Materials. 2010. Т. 24. №. 8. С. 1392-1397.
101. Хинт Й.А. Основы производства силикатных изделий / Й.А. Хинт // М.-Л.: Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам, 1962. – 642 с
102. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. Репринтное воспроизведение издания 1982 г. / Л.М. Хавкин - М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 384 с.
103. Кузнецова, Г.В. Влияние состава известково-кремнеземистого вяжущего на свойства формовочной смеси в производстве силикатного кирпича / Г.В. Кузнецова, С.Р. Зигангараева, Н.Н. Морозова // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1. - №1. С. 77-82.
104. Кузнецова, Г.В. Известь и ее влияние на техническое перевооружение заводов силикатного кирпича / Г.В. Кузнецова // Строительные материалы. 2016. №9. С. 9-13.
105. Кузнецова, Г.В. Комплексное известково-кремнеземистое вяжущее для увеличения сырцової прочности силикатного кирпича / Г.В. Кузнецова, Д.А. Бабушкина, Г.Х. Гайнутдинова // Строительные материалы. 2017. №8. С. 19-22.
106. Кузнецова, Г.В. Способ прессования силикатного кирпича и метод определения его сырцової прочности / Г.В. Кузнецова // Строительные материалы. 2015. №12. С. 50-53.
107. Кузнецова, Г.В. Известковое вяжущее для стеновых изделий из отсеков дробления горных пород / Г.В.Кузнецова // Строительные материалы. 2014. №12. С. 34-37.

108. Российский рынок силикатных стеновых материалов: 2017 - 6 месяцев 2022 г. и прогноз на 2022-2023 гг. – Москва: ООО "ГС-ЭКСПЕРТ", 2022. – 62 с.

109. Патент № 2297991 Российская Федерация, МПК С04В 28/02 (2006.01), С04В 111/20 (2006.01). Сухая строительная смесь : №2005133842/03 : заявл. 01.11.2005 : опубл. 27.04.2007 / Селяев В.П., Куприяшкина Л.И., Болдырев А.А. ; заявитель ГОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева». – 3 с.

110. Патент № 2540176 Российская Федерация МПК С04В 28/18 (2006.01), С04В 28/04(2006.01). Сухая строительная смесь : №2013139806/03 : заявл. 27.08.2013 : опубл. 10.02.2015 / Грехов П.И., Церенщиков А.С. ; заявители Грехов П.И., Церенщиков А.С. – 6 с.

111. Логанина, В.И. Реологические свойства известковых растворов на основе активированного диатомита /В.И. Логанина, И.А. Аверин, О.А. Давыдова // Приволжский научный журнал. 2012. №3(23). С. 71-75.

112. Шангина, Н.Н. Влияние минеральных добавок на усадочные деформации камня из известкового раствора /Н.Н. Шангина, Т.Ю. Сафонова // Вестник гражданских инженеров. 2021. №2(85). С. 142-149.

113. Пухаренко, Ю.В. Реставрация исторических объектов с применением современных сухих строительных смесей / Ю.В. Пухаренко, А.М. Харитонов, Н.Н. Шангина, Т.Ю. Сафонова // Вестник гражданских инженеров. 2011. №1(26). С. 98-103.

114. Баруздин, А.А. Композиционный материал на основе техногенных отходов /А.А. Баруздин, Л.В. Закревская, К.А. Николаева // Эксперт: теория и практика. 2023. №2(21). С. 17-23.

115. Хлыстов, А.И. Применение активных минеральных добавок в процессах синтезирования водостойких известково-пуццолановых вяжущих /А.И. Хлыстов, Е.А. Гриненко // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. Сборник статей. Самарский

государственный технический университет. – Самара: ФГБОУ ВО СГАСУ, 2017. С. 70-73.

116. Черкасов, В.Д. Активная минеральная добавка на основе диатомита /В.Д.Черкасов, В.И. Бузулуков, А.И. Емельянов, Е.В. Киселев // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. 2010. №13. С. 197-199.

117. Дмитриев, Н.С. Исследование пуццолановой активности активных минеральных добавок различного происхождения /Н.С. Дмитриев, О.А. Ларсен, О.В. Александрова // Строительство – 2016. Материалы II Брянского международного инновационного форума. Редакционная коллегия: Н.П. Лукутцова, М.Ю. Прокуров, М.А. Сенющенков. – Брянск: ФГБОУ ВО БГИТУ, 2016. С. 40-43.

118. Баталин, Б.С. Исследования эффективности добавок, применяемых для производства сухих строительных смесей / Б.С. Баталин // Успехи современного естествознания. 2007. № 7. С. 60–62.

119. Логанина, В.И. Известково-диатомитовый раствор для отделки стен зданий /В.И. Логанина // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2022. Т. 14. №2. С. 96-104.

120. Brzyski, P The influence of gum arabic admixture on the mechanical properties of lime-metakaolin paste used as binder in hemp concrete / P Brzyski // Materials. 2021. 14(22). P. 6775.

121. Pachta, V. The role of glass additives in the properties of lime-based grouts / V. Pachta // Heritage. 2021. 4(2).P. 906–916.

122. Bakolas, A. Chemico-physical interactions among the constituents of historical walls in Venice / A. Bakolas, R. Bertoncetto, G. Biscontin, A. Glisenti, A. Moropoulou, E. Tondello, E. Zendri // In: Materials Issues in Art and Archaeology IV. Mat. Res. Soc. / J.R. Druzik, P.B. Vandiver (Eds.), – Pittsburgh, 1995. P. 771–777.

123. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы на основе золь-гель-технологии / В.И. Логанина, О.А. Давыдова // Строительные материалы. 2009. № 3. С. 50–51.

124. Логанина, В.И. Перспективы изготовления органо-минеральной добавки на основе отечественного сырья / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, В.Н. Горбунов, Т.Н. Дмитриева // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2009. № 9 (609). С. 36–39.

125. Логанина, В.И. Разработка органо-минеральной добавки для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, Э.Р. Акжигитова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2011. № 3. С. 8–12.

126. Логанина, В.И. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций / В.И. Логанина, О.А. Давыдова, Е.Е. Симонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2011. № 3 (627). С. 20–23

127. Фролов М.В. Эффективные теплоизоляционные сухие смеси для отделки стен зданий из газобетона: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Фролов Михаил Владимирович : Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – Пенза, 2018. – 19 с. – Место защиты: Пензенский государственный университет архитектуры и строительства.

128. Селяев, В.П. Влияние структуры цеолитсодержащих композитов на долговечность бетона / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина // Современные проблемы строительного материаловедения: материалы V акад. чтений. – Воронеж: Рос. акад. архитектуры и строит. наук, 1999. С. 394–398.

129. Логанина, В.И. Реологические свойства композиционного известкового вяжущего с применением синтетических цеолитов / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, Л.В. Макарова, М.А. Садовникова // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2013. № 4 (652). С. 37–42

130. Логанина, В.И. Обоснование выбора наполнителя при разработке рецептуры известкового состава для реставрации зданий /В.И. Логанина, М.В. Зайцева// Региональная архитектура и строительство. 2022.№2(51). С. 33-38.

131. Пышкина И.С. Модифицированная известковая сухая строительная смесь для реставрации и отделки зданий: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пышкина Ирина Сергеевна ; Пензенский государственный университет архитектуры и строительства. – Пенза, 2016. – 120 с. – Место защиты: Пенз. гос. ун-т архитектуры и стр-ва.

132. Логанина, В.И. Сухие строительные смеси с наполнителями на основе гидросиликатов кальция /В.И. Логанина, Л.В. Макарова, К.А. Сергеева, Е.В. Королев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №2 (39). С. 222-228.

133. Лукашевич, О.Д. Получение водостойких, прочных силикатных материалов на основе природного и техногенного сырья / О.Д. Лукашевич, В.А. Лотов, Н.Т. Усова, В.Н. Лукашевич // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2017. № 6 (65). С. 151-160.

134. Логанина, В.И. Известковые составы с добавкой полисиликатного раствора для реставрации стен зданий / В.И. Логанина, М.В. Зайцева // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2022. №5(274). С. 45-48.

135. Василик, П.Г. Новые эфиры целлюлозы для производства гипсовых штукатурок / П.Г. Василик, И.В. Голубев // Сухие строительные смеси. 2011. №3. С. 28-29.

136. Кузьмина, В.П. Механизмы воздействия эфиров целлюлозы на свойства строительных материалов / В.П. Кузьмина // Сухие строительные смеси. 2018. №1. С. 33-40.

137. Усов, Б.А. Механизм действия функциональных добавок при гидратации и твердении сухих строительных смесей / Б.А. Усов, С.Ю. Акимов // Системные технологии. 2015. № 4 (17). С. 23-35.

138. Пичугин, А.П. Влияние комплексных волокнистых добавок на трещиностойкость строительных растворов из сухих смесей / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, И.В. Белан, М.А. Пичугин // В сборнике: Строительные материалы – 4С: состав, структура, состояние, свойства. Международный сборник научных трудов. Новосибирский государственный аграрный университет, Томский государственный архитектурно-строительный университет, Российская академия естественных наук, Российская академия проблем качества, 2015. С. 195-199.

139. Пичугин, А.П. Разработка составов сухих строительных смесей с повышенными эксплуатационными характеристиками / А.П. Пичугин, В.Ф. Хританков, И.В. Белан, Т.К. Акчурин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2014. № 36 (55). С. 68-77.

140. Бобрышев, А.А. Свойства композиционных материалов с порошковыми полимерными модификаторами / А.А. Бобрышев, Г.Р. Шафигуллина, А.А. Трещев, Л.Н. Шафигуллин, И.Ф. Гумеров // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. 2016. Т. 72. №3. С. 60-64.

141. Глаголева, Е.С. Композиционные вяжущие для сухих ремонтных смесей / Е.С. Глаголева, Ю.А. Дмитриев, Д.А. Сумской, Е.О. Яремчук, И.В. Якимович // Эффективные строительные композиты. Научно-практическая конференция к 85-летию заслуженного деятеля науки РФ, академика РААСН, доктора технических наук Баженова Юрия Михайловича. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 115-121.

142. Патент № 2576426 Российская Федерация МПК С04В28/04, С04В111/20. Строительная смесь : № 2014128056/03, заявл. от 08.07.2014 :

опубл. 10.03.2016 / Пичугин А.П., Белан И.В., Лазарев Е.Г., Хританков А.С., Денисов А.С. – 1 с.

143. Першина, А.С. Декоративные нанонаполненные цементно-полимерные композиции для отделки фасадов / А.С. Першина, С.Ф. Коренькова // Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. 2011. Т. 3. № 4. С. 36-46.

144. Парута, В.А. Структурообразование трещиностойкого полимерцементного штукатурного раствора для кладки автоклавного газобетона / В.А. Парута // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2014. №9(188). С. 28-31.

145. Зайцев, А.Е. Исследование влияния дисперсности полимера на свойства матриц минеральных вяжущих / А.Е. Зайцев // Успехи в химии и химической технологии. 2007. Т. 21. №7(75). С. 53-55.

146. Удодов, С.А. Влияние дозировки редиспергируемого порошка на локализацию полимера и деформативные свойства раствора / С.А. Удодов, М.Р. Гиш // Научные труды КубГТУ. 2015. № 9. С. 164-174.

147. Загороднюк, Л.Х. К вопросу создания сухих строительных смесей / Л.Х. Загороднюк, Н.В. Лысикова, В.С. Брусенцева, Д.А. Сумской, Д.С. Махортов // Природоподобные технологии строительных композитов для защиты среды обитания человека. II Международный онлайн-конгресс, посвященный 30-летию кафедры Строительного материаловедения, изделий и конструкций. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2019. С. 196-200.

148. Патент № 2770944 Российская Федерация, МПК С04В 28/04 (2006.01), С04В 24/00(2006.01), С04В 24/26(2006.01), С04В 111/20(2006.01). Состав сухой смеси для торкретирования угольных пластов : № 2021125174 : заявл. 25.08.2021 : опубл. 25.04.2022 / Орлов Н.В. ; заявитель ООО «МСТ». – 6 с.

149. Урецкая, Е.А. Ремонт влажных и поврежденных солями строительных конструкций / Е.А. Урецкая, Е.М. Плотникова // Сухие строительные смеси. 2011. №1. С. 32-35.

150. Мальцева, И.В. Об использовании гидрофобизаторов в фасадных отделочных материалах / И.В. Мальцева // Инженерный вестник Дона. 2017. №4(47). С. 169.

151. Овчаренко, Г.И. Разработка и оптимизация составов сухих ремонтных смесей / Г.И. Овчаренко, С.Н. Панюшов // Ползуновский альманах. 2016. №3. С. 164-168.

152. Оноприенко, Н.Н. К вопросу адгезионных явлений в модифицированных дисперсных системах / Н.Н. Оноприенко // Фундаментальные основы строительного материаловедения. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. С. 676-682.

153. Пичугин, А.П. Роль модификаторов и защитных композиций в усилении органических и минеральных конгломератных структур / А.П. Пичугин, А.Ю. Кудряшов, М.О. Батин, Л.А. Митина, К.А. Никитенко // В сборнике: Фундаментальные основы строительного материаловедения. Сборник докладов Международного онлайн-конгресса, 2017. С. 688-693.

154. Несветаев, Г.В. О влиянии редиспергируемых полимерных порошков на модуль упругости и прочности сцепления строительных растворов / Г.В. Несветаев, В.В. Осипов // Инженерный вестник Дона. 2022. №7(91). С. 493-505.

155. Хританков, В.Ф. Использование наноразмерных добавок в бетонах и строительных растворах для обеспечения адгезии при ремонтных работах / В.Ф. Хританков, А.П. Пичугин, О.Е. Смирнова, А.А. Шаталов, М.А. Пичугин // Интеллектуальные системы в производстве. 2019. Т. 17. № 1. С. 131-137.

156. Самченко, С.В. Образование и рост кристаллов этtringита в присутствии полимерных функциональных добавок /С.В. Самченко, Е.М. Макаров // Успехи современной науки и образования. 2016. Т. 5. №12. С. 118-122.

157. Меретуков, З.А. Перспективные соединения на полимерной основе с функциональными свойствами и их применение в строительных растворах /З.А. Меретуков, Р.Г. Шишова, В.А. Крец, В.С. Мялов // Современная наука и образование: новые подходы и актуальные исследования. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции. – Чебоксары: НОУ ДПО «Экспертно-методический центр», 2021. С. 64-75.

158. Кузьмина, В.П. Особенности применения сухих строительных смесей при проведении отделочных работ в различных климатических условиях. Часть 1 / В.П. Кузьмина // Сухие строительные смеси. 2017. № 6. С. 34-38.

159. Федосов, С.В. Управление процессами массопереноса при коррозии цементных бетонов / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, И.В. Караваев, А.С. Евсяков // Энергоресурсоэффективные экологически безопасные технологии и оборудование. Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума «Вторые международные Косыгинские чтения, приуроченные к 100-летию РГУ имени А. Н. Косыгина» на Международном Косыгинском Форуме-2019 «Современные задачи инженерных наук». – Москва: ФГБОУ ВО «РГУ им. А.Н. Косыгина», 2019. С. 14-18.

160. Румянцева, В.Е. Анализ коррозионной стойкости штукатурных покрытий на основе извести и способы ее повышения / В.Е. Румянцева, Д.А. Панченко, Ю.Ф. Панченко, В.С. Коновалова, О.И. Королева //Современные проблемы гражданской защиты. 2022. №3(44). С. 99-108.

161. Федосов, С.В. Исследования жидкостной коррозии второго вида цементных бетонов модифицированных гидрофобизирующими добавками / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2020 году. Сборник научных трудов РААСН: в 2

томах. Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН). – Москва: Издательство АСВ, 2021. С. 289-298.

162. Pavlíková, M The influence of inner hydrophobisation on water transport properties of modified lime plasters / M Pavlíková, Z Pavlík, R Pernicová, R Černý // AIP Conference Proceedings 1738, 280005 (2016); <https://doi.org/10.1063/1.4952065> Published Online: 23 June 2016.

163. Белан, И.В. Изучение структуры и процесса массопереноса в затвердевших строительных растворах из сухих смесей / И.В. Белан, А.П. Пичугин, А.С. Денисов, В.Ф. Хританков // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. - № 1 (673). – С. 32-38.

164. Иванов, Ф.М. Биоповреждения в строительстве / Ф.М. Иванов, С.Н. Горшин (ред.) – М.: Стройиздат, 1984. – 320 с.

165. Афоничева, А.Б. Проведение микробиологического мониторинга жилых помещений различной степени загрязненности / А.Б. Афоничева // Экологическая безопасность в техносферном пространстве. Сборник материалов Пятой Международной научно-практической конференции преподавателей, молодых ученых и студентов. – Екатеринбург, РГПШУ, 2022. С. 32-36.

166. Смирнов, В.Ф. Экологические аспекты биокоррозии и повышение биостойкости строительных материалов /В.Ф. Смирнов, Д.А. Светлов, М.М. Зоткина, Д.Д. Светлов, М.Е. Бажанова, М.В. Вильдяева, Е.А. Захарова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. - №4. С. 14-26.

167. Строкова, В.В. Устойчивость вяжущих систем различного состава к действию плесневых грибов / В.В. Строкова, В.В. Нелюбова, М.Н. Сивальнева, М.Д. Рыкунова, Н.А. Шаповалов // Строительные материалы. 2020.№ 11. С. 41-46.

168. Денисова, Ю.В. Фунгицидные добавки в борьбе с биокоррозией композиционных соединений /Ю.В.Денисова, И.А. Дегтев, М.Ю.Захарова // Университетская наука. 2022.№2(14). С. 43-46.

169. Негода, Л.Л. Оценка грибостойкости различных строительных материалов при изучении экологии плесневых грибов /Л.Л. Негода, В.Ф. Смирнов, Т.С. Курмаева // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство. Сборник статей. – Самара: СГТУ, 2019. С. 845-849.

170. Светлов, Д.А. Микробиологическая коррозия строительных материалов / Д.А. Светлов, А.Н. Качалов // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6.№4. С. 18.

171. Арашкова, А.А. Грибостойкость строительных блоков в условиях модельного эксперимента / А.А. Арашкова // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя біялагічных навук. 2019. Т. 64, № 1. С. 96–101.

172. Ерофеев, В.Т. Влияние эксплуатационной среды на биостойкость строительных композитов / В.Т. Ерофеев, А.Д. Богатов, С.Н. Богатова, С.В. Казначеев, В.Ф. Смирнов // Инженерно-строительный журнал. – 2012. №7(33). С. 23-31.

173. Фомичев, В.Т. Защита строительных материалов и конструкций от повреждений микромицетами / В.Т. Фомичев, С.В. Камкова, И.А. Куликова, Г.В. Чичерина // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2021. №4(85). С. 183-191.

174. Кряжев, Д.В. Экологические основы диагностики процессов биодеструкции природных и синтетических полимерных материалов в условиях ряда абиотических факторов внешней среды : специальность: 03.02.08 – экология (биология) : диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук / Кряжев Дмитрий Валерьевич ; Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского. – Нижний Новгород, 2015. – 305 с.

175. Румянцева, В.Е. Микробиологическая стойкость штукатурного раствора на основе извести /В.Е. Румянцева, Д.А. Панченко, Ю.Ф. Панченко,

В.С. Коновалова, Э.Н. Медведева, Е.А. Шварев // Современные проблемы гражданской защиты. 2023. № 3 (48). С. 169-177.

176. Шаповалов И.В. Биоповреждение строительных материалов плесневыми грибами: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шаповалов Игорь Васильевич ; Белгород. гос. технол. ун-т им. В.Г. Шухова. – Белгород, 2003. – 20 с. – Место защиты: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова.

177. Шарафутдинов, К.Б. Исследование грибостойкости цементного П / К.Б. Шарафутдинов // Химия. Экология. Урбанистика. 2021. Т. 3. С. 223-227.

178. Павлова, И.Э Грибостойкость некоторых строительных материалов. Сравнительное исследование. / И.Э. Павлова, А.А. Маметьева, Г.А. Чилина, А.А. Степанова // Проблемы медицинской микологии. 2011. Т. 13. №4. С. 35-38.

179. Хуторской, С.В. Биологическое сопротивление модифицированных строительных композитов на основе известковых вяжущих: специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : автореферат дис. ... кандидата технических наук / Хуторской Сергей Владимирович ; Пенз. гос. ун-т архитектуры и стр-ва. – Пенза, 2013. - 21 с. – Место защиты: Пенз. гос. ун-т архитектуры и стр-ва.

180. Хуторской, С.В. Новые свойства строительных материалов / С.В. Хуторской, Д.Н. Петряков // Эксперт года 2019. Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса. – Петрозаводск: МЦНП «Новая Наука», 2019. С. 40-43.

181. Ерофеев, В.Т. Стойкость композитов из сухих строительных смесей при воздействии биологической среды / В.Т. Ерофеев, Е.Н. Абрамова, Т.Ф. Ельчищева, В.В. Афонин, И.В. Ерофеева // Сборник научных трудов III Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, посвященной памяти д.т.н., профессора, академика Российской академии архитектуры и строительных наук Е.М. Чернышова. – Липецк, 2022. С. 15-24.

182. Ельчищева, Т.Ф. Разработка композиционного вяжущего с биоцидными свойствами / Т.Ф. Ельчищева, В.Т. Ерофеев, П.В. Монастырев, И.В. Ерофеева // Эксперт: теория и практика. 2023. № 3 (22). С. 69-73.

183. Ельчищева, Т.Ф. Биологическая стойкость окрашенных в черный цвет цементных композитов / Т.Ф. Ельчищева, И.В. Ерофеева, Я.А. Санягина, В.В. Ушкина, С.В. Казначеев, Т.К. Акчурин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2022. № 3 (88). С. 76-86.

184. Хлыстов, А.И. Сухие штукатурные смеси на основе гипсовых вяжущих повышенной грибостойкости / А.И. Хлыстов, Л.Л. Негода, Е.Ю. Вандышева // Информационные технологии в работе с одаренной молодежью. Под редакцией М.И. Бальзанникова, С.А. Пиявского, В.В. Козлова. – Самара: ФГБОУ ВО СГАСУ, 2015. С. 200-204.

185. Степина, И.В. Повышение биостойкости древесины путем модификации ее поверхности бор азотными соединениями / И.В. Степина, И.А. Котлярова, В.И. Сидоров, Е.М. Мясоедов // Вестник МГСУ. 2013. №11. С. 149-154.

186. Ворончихин, В.Д. Оценка грибостойкости пленкообразователей, используемых для модификации поверхности древесины. Сообщение 1. Грибостойкость функциональных олигодиенов. / В.Д. Ворончихин, П.Н. Бондарь // Хвойные бореальной зоны. 2016. Т. 34. №1-2. С. 117-120.

187. Залепкина, С.А. Использование селенсодержащих гетероциклических соединений в качестве средств защиты лакокрасочных материалов от микробиологических повреждений / С.А. Залепкина, М.М. Артемьева, М.Е. Безруков, О.Н. Смирнова, Е.А. Захарова, В.Ф. Смирнов, А.В. Борисов, Ж.В. Мацулевич // Экология и промышленность России. – 2018. Т. 22. №1. С. 56-61.

188. Козлов, Г.В. Изучение грибостойкости лакокрасочных покрытий, содержащих биоциды / Г.В. Козлов, А.В. Гарабаджиу, А.С. Дринберг, М.А. Пушкарев, К.А. Мнацаканян // Научные технологии функциональных

материалов. Тезисы докладов V Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор О.Э. Бабкин. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2018. С. 43-44.

189. Сакаева, Э.Х. Биодеструкция полимерных композиционных материалов микроскопическими грибами / Э.Х. Сакаева, Ю.В. Куликова, Л.В. Рудакова // Теоретическая и прикладная экология. 2018. №4. С. 68-75.

190. Аникина, Н.А. Исследование устойчивости к действию микроскопических грибов лакокрасочных материалов, используемых в строительстве, приборо- и машиностроении / Н.А. Аникина, В.Ф. Смирнов, Д.В. Кряжев, О.Н. Смирнова, Е.А. Захарова, Е.Н. Григорьева // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2014. №2-1. С. 100-105.

191. Аникина, Н.А. Исследование устойчивости полимерных материалов на основе акрилатов к действию микроскопических грибов /Н.А. Аникина, В.Ф. // Смирнов Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2013. №6-1. С. 142-145.

192. Лутаускас, А.Ю. Каталог микромицетов-биодеструкторов полимерных материалов / А.Ю. Лутаускас, А.И. Микульскене, Д.Ю. Шляужене – М.: Наука, 1987. 344 с.

193. Хремкин, А.С. Устойчивость материалов на каустическом магнезите к воздействию плесневых грибов / А.С. Хремкин, О.В. Кабанов, Л.С. Яушева // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2018. Т. 18. №3. С. 41-45.

194. Василенко, М.И. Создание грибостойких покрытий с использованием отходов производства /М.И. Василенко, Е.Н. Гончарова, Е.А. Шоева // Энерго- и ресурсосберегающие экологически чистые химико-технологические процессы защиты окружающей среды. Сборник докладов международной научно-технической конференции. – Белгород: БГТУ им. В.Г. Шухова, 2015. С. 23-29.

195. Рыкунова, М.Д. К вопросу о существующих способах оценки грибостойкости строительных композитов / М.Д. Рыкунова, М.Д. Карнаухова, А.А. Кривошапов // Образование. Наука. Производство. Материалы X Международного молодежного форума с международным участием. – Белгород: БГТУ им.В.Г. Шухова, 2018. С. 522-527.

196. Домкин, К.И. Оптические методы определения размеров мелкодисперсных материалов / К.И. Димкин, В.А. Трусов, В.Г. Недорезов // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». 2011. Т. 2. С. 154-158.

197. Губайдуллин, А.А. Обобщение подхода Коззени к определению проницаемости модельных пористых сред из твердых шаровых сегментов / А.А. Губайдуллин, Д.Е. Игошин, Н.А. Хромова // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2016. Т. 2. № 2. С. 105-120.

198. Носенко, А.А. Методы и устройства для измерения удельной поверхности дисперсных материалов / А.А. Носенко, С.И. Половнева // Известия ВУЗов. Прикладная химия и биотехнология. 2017. Т. 7. № 2. С. 113-121.

199. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев – М.: Высшая школа, 1981. – 335 с.

200. Мамыкин, Н.А. Определение средних размеров ОКР и средних микродеформаций методом аппроксимации / Н.А. Мамыкин – Челябинск: 1991. – 16 с.

201. Потапов, С.С. Современные минеральные образования в малой архитектурной форме (арке Бювета) на территории Новоафонского монастыря (республика Абхазия) / С.С. Потапов, О.Я. Червяцова, Н.В. Паршина // Минералогия техногенеза. 2021. №22. С. 29-42.

202. Любомирский, Н.В. Конструкционные и теплоизоляционные строительные материалы принудительного карбонатного твердения из

вторичного сырья: монография / Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин, А.С. Бахтин, Т.А. Бахтина, Е.Ю. Николаенко, В.В. Николаенко. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2021. – 408 с.

203. Румянцева, В.Е. Разработка состава сухой штукатурной смеси на основе высокодисперсной извести / В.Е. Румянцева, Д.А. Панченко, Ю.Ф. Панченко, В.С. Коновалова, Э.Н. Хафизова // Строительные материалы. 2023. № 6. С. 57-64.

204. Федосов, С.В. Принципы математического моделирования при бактериальной коррозии цементного камня / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, Т.В. Чеснокова, С.А. Логинова. // Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году : Сборник научных трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. – Москва : Издательство АСВ, 2018. С. 487–491. DOI: 10.22337/9785432302663-487-491.

205. Чеснокова, Т.В. Изучение грибковой коррозии бетона с помощью модельной среды / Т.В. Чеснокова, В.Е. Румянцева, С.А. Логинова. // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2019. № 3 (59). С. 85–89.

206. Альжанова, А.Ж. Влияние составов сухих строительных смесей на технические свойства строительных материалов / А.Ж. Альжанова, А.К. Зайнутдинов, Б.К. Сарсенбаев [и др.]. // Управление инновациями: теория, методология, практика. 2016. № 18. С. 56–59.

207. Загороднюк, Л.Х. Теоретические основы создания сухих строительных смесей / Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик, Е.С. Глагоев [и др.]. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2016. № 9. С. 40–52.

208. Слюсарь, О.А. Модифицирующие добавки в сухих строительных смесях / О.А. Слюсарь, А.Д. Мишина. // Молодежь и научно-технический прогресс: Сборник докладов XII международной научно-практической

конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Том 1. – Губкин: ООО «Ассистент плюс», 2019. С. 448-451.

209. Румянцева, В.Е. Особенности коррозии бетона и железобетона в хлоридных и углекислых средах / В.Е. Румянцева, И.Н. Гоглев. // Информационная среда вуза. 2016. № 1(23). С. 379–382.

210. Румянцева, В.Е. Разработка состава сухой штукатурной смеси на основе извести / В.Е. Румянцева, Д.А. Панченко, Ю.Ф. Панченко // Архитектура, строительство, транспорт. 2022. №2. С. 39-46.

211. Богданов Р.Р. Исследование влияния отечественных гидрофобизаторов на основные свойства цементного теста и раствора / Р.Р. Богданов, Р.А. Ибрагимов, В.С. Изотов // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №4(26). С. 207-210.

212. Богданов Р.Р. Влияние гидрофобизирующих добавок на свойства цементных композиций / Р.Р. Богданов, А.А. Мустафин, С.Н. Шебанова // Вестник Технологического университета. 2015. Т. 18. №21. С. 64-66.

213. Сивков С.П. Влияние модифицированных гидрофобных добавок на свойства цементных растворов и бетонов / С.П. Сивков, Е.А. Косинов // Технологии бетонов. 2010. № 7-8(48-49). С. 35-37.

214. Федосов С.В. Скорость проникновения хлорид-ионов к поверхности стальной арматуры в гидрофобизированных бетонах / С.В.Федосов, В.Е.Румянцева, В.С.Коновалова, И.В.Караваяев // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2018. №4(56). С. 93-99.

215. Федосов С.В. Влияние кольматации пор цементного камня на жидкостную коррозию гидрофобизированных бетонов / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, В.С. Коновалова, И.В. Караваяев, А.С. Евсяков // Техническое регулирование в транспортном строительстве. 2018. №6(32). С. 44-48.

216. Федосов, С.В. Кольматация пор цементных бетонов при гидрофобизации / С.В. Федосов, В.Е. Румянцева, И.В. Красильников, В.С. Коновалова, А.С. Евсяков // Фундаментальные, поисковые и прикладные

исследования Российской академии архитектуры и строительных наук по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2018 году. – Москва: Российская академия архитектуры и строительных наук, 2019. С. 563-572. DOI: 10.22337/9785432303134-563-572.

217. Патент № 2550171 Российская Федерация МПК С04В 28/20, С04В 111/20, С04В 111/70. Состав сухой строительной смеси : №2013117493/03 : заявл. 16.04.2013 : опубл. 10.05.2015 / Логанина В.И., (RU), Акжигитова Э.Р.; заявитель ФГБОУ ВПО ПГУАС. – 6 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ивановский государственный политехнический университет»

УТВЕРЖДАЮ:
Первый проректор –
проректор по развитию ИВГПУ
Е.Н. НИКИФОРОВА



АКТ

О внедрении результатов диссертационной работы

Панченко Дмитрия Алексеевича на тему: «Сухая штукатурная смесь на основе воздушной извести с улучшенными эксплуатационными характеристиками» в учебный процесс

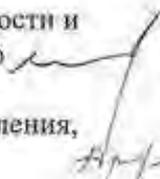
Комиссия ФГБОУ ВО «Ивановский государственный политехнический университет» в составе:

- проректор по образовательной деятельности и воспитательной работе, д.т.н., профессор Матрохин А.Ю.;
- начальник учебно-методического управления, к.т.н., доцент Дрягина Л.В.;
- директор института информационных технологий, естественных и гуманитарных наук, зав. кафедрой естественных наук и техносферной безопасности, чл.-корр. РААСН, д.т.н., профессор Румянцева В.Е.

составили настоящий акт о том, что результаты научных исследований, представленные в диссертационной работе Панченко Дмитрия Алексеевича на тему: «Сухая штукатурная смесь на основе воздушной извести с улучшенными эксплуатационными характеристиками» внедрены в учебный процесс кафедры естественных наук и техносферной безопасности ФГБОУ ВО «ИВГПУ» при проведении лекционных и лабораторных занятий для обучения бакалавров направления подготовки 05.03.06 Экология и

природопользование, направленность – Охрана окружающей среды по дисциплинам: медико-биологические основы безопасности, токсикология; экология человека.

Результаты научных исследований, представленные в диссертационной работе Панченко Дмитрия Алексеевича на тему: «Сухая штукатурная смесь на основе воздушной извести с улучшенными эксплуатационными характеристиками» заслушаны и обсуждены на заседании научно-методического совета ИВГПУ, протокол № 2 от 21.12.2023 г.

Проректор по образовательной деятельности и
воспитательной работе, д.т.н., профессор  Матрохин А.Ю.

Начальник учебно-методического управления,
к.т.н., доцент  Дрягина Л.В.

Директор ИИТЕГН,
чл.-корр. РААСН, д.т.н., профессор  Румянцева В.Е.

Зав. кафедрой ЕНиТБ,
чл.-корр. РААСН, д.т.н., профессор  Румянцева В.Е.



ТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор ООО «ВЗКГ»
Ф. Саммасов
20 23 года

Акт
промышленных испытаний
по результатам диссертационной работы
Панченко Дмитрия Алексеевича

Настоящим подтверждаем, что в период с 10.04.2023 г. по 14.04.2023 г., на основании предложений Панченко Дмитрия Алексеевича, разработанных в процессе подготовки диссертационной работы, было осуществлено пробное производство сухой штукатурной смеси на основе известково-песчаной смеси (ИПС) используемой для формования силикатного кирпича. Смешивание известково-песчаной смеси с добавками осуществлялось на узле окрашивания ИПС, который в настоящий момент не используется в производстве кирпича по причине демонтажа прессового оборудования на данной линии. В результате работ была выпущена пробная партия сухой штукатурной смеси в количестве 4 т, которая была применена для оштукатуривания стен бытовых помещений силикатного цеха, общей площадью 240 м². Сухая штукатурная смесь отличалась высокими технологическими характеристиками. По предварительной оценке, себестоимости 1 т штукатурной смеси составила 6582 руб.

Предприятие ООО «ВЗКГ» на основании предварительных испытаний выражает заинтересованность в результатах диссертационной работы Панченко Дмитрия Алексеевича в части составов сухих штукатурных смесей на основе известки и доработки технологических решений по их производству.

Разработчики: Румянцева В.Е., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет, Панченко Д.А., старший преподаватель кафедры строительных материалов ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет.

Главный бухгалтер
Начальник силикатного цеха
Начальник ОТК

Трофимова Л.В.
Регель Е.П.
Фидиченко И.Л.



**Общество с ограниченной ответственностью
«Винзилинский завод керамзитового гравия»**

ИНН /КПП: 7224036609/ 722401001
ОГРН: 1077203052563
Р/с 40702810867020000234
Западно-Сибирское отделение
№86647 ПАО "Сбербанк"
К/с 301018108000000000651
БИК 047102651

625530, Тюменская область, Тюменский район,
рабочий поселок Винзили, улица Возральная, 1
тел. 8(3452) 72-78-78.
бухгалтерия 8(3452) 76-19-79
e-mail: vzk@mail.ru



ТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «ВЗКТ»
И.Ф. Самматов
20.23 года

Акт

внедрения результатов диссертационной работы
Панченко Дмитрия Алексеевича

Настоящим подтверждаем, что в период с 19.06.2023 г. по 07.07.2023 г., на основании результатов диссертационной работы Панченко Дмитрия Алексеевича, был доработан узел окрашивания ИПС для производства сухой штукатурной смеси на основе извести, а именно:

- на корпусе скребкового транспортера на участке протяженностью 6,5 м установлена паровая рубашка для подсушивания известково-песчаной смеси;
- над корпусом скребкового транспортера на участке протяженностью 6,5 м установлены инфракрасные нагреватели для подсушивания известково-песчаной смеси;
- смонтировано вибросито и лямбы по фасовке сухой штукатурной смеси в бумажные мешки по 20 кг.

В период с 10.07.2023 г. по 12.07.2023 г. была выпущена пробная партия сухой штукатурной смеси на основе извести в количестве 12 т (600 мешков по 20 кг).

Разработчики: Румянцева В.Е., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет, Панченко Д.А., старший преподаватель кафедры строительных материалов ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет.

Начальник силикатного цеха

Начальник ОТК

Регель Е.П.

Фидиченко Н.Л.



**Общество с ограниченной ответственностью
«Винзилинский завод керамзитового гравия»**

инн /КПП: 7224036609/ 722401001
ОГРН: 1077203052563
Р/с 40702810867020000234
Западно-Сибирское отделение
№8647 ПАО «Сбербанк»
К/с 30101810800000000651
БИК 047102651

625530, Тюменская область, Тюменский район,
рабочий поселок Винзили, улица Вокзальная, 1
тел. 8(3452) 72-78-78
бухгалтерия 8(3452) 76-19-79
e-mail: vzk@mail.ru

УТВЕРЖДАЮ

Директор

ООО «МЕЛАНЖ»

Ю.В. Левоненя

«__» _____ 2024 года

АКТ

промышленных испытаний
по результатам диссертационной работы
Панченко Дмитрия Алексеевича

Настоящим подтверждаем, что на предприятии ООО «МЕЛАНЖ» осуществлено пробное высушивание известково-песчаной смеси производства ООО «ВЗКГ» в сушильном барабане «БС 1,0-5,5» в количестве 3 т. Время сушки составило 40 мин, начальная влажность смеси составляла - 6,5%, конечная влажность - 0,2%.

Разработчики: Румянцева В.Е., доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, профессор кафедры естественнонаучных дисциплин ФГБОУ ВО Ивановский государственный политехнический университет, Панченко Д.А., старший преподаватель кафедры строительных материалов ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет.

Лаборант-технолог

Начальник цеха



Харлов И.И.

Тюрин К.В.

**«СТРОИТЕЛЬСТВО БИЗНЕС
ИНВЕСТИЦИИ»**
Общество с ограниченной ответственностью

625023, Тюменская область, г. Тюмень, ул. Харьковская, дом 77 офис 401
ОГРН 1227200006098 ИНН 7203536294 КПП 720301001

Акт
внедрения результатов диссертационной работы
Панченко Дмитрия Алексеевича

В период с 14.08.2023 г. по 18.08.2023 г. на объекте «Жилой квартал в границах ул. Дамбовкая – Профсоюзная – р. Тура в г. Тюмени. Жилые дома с нежилыми помещениями ГП1 – ГП6. 1 этап строительства. Жилой дом с нежилыми помещениями ГП1, ГП4, ГП5(ГП4)» было выполнено оштукатуривание стен с применением сухой штукатурной смеси на основе извести производства ООО «Винзилинский завод керамзитового гравия», выпущенной по результатам диссертационной работы Панченко Дмитрия Алексеевича, в объеме 800 м².

В результате работ отмечены положительные стороны раствора – пластичность, хорошая адгезия, отсутствие трещин, белый цвет, низкий расход. Сухая строительная смесь была приобретена по 9 руб. за 1 кг, при стоимости аналога 14,4 руб. за 1 кг. В итоге, при толщине слоя штукатурки 20 мм экономия с 1 м² составила 54 руб., что при больших объемах штукатурных работ является весьма существенным.

Генеральный директор
ООО «СБИ»



Ахмадов Ш.Б.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2598254

СТРОИТЕЛЬНЫЙ РАСТВОР НА ОСНОВЕ ИЗВЕСТКОВО-ПЕСЧАНОЙ СМЕСИ

Патентообладатель(и): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский индустриальный университет" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2014150530

Приоритет изобретения **10 декабря 2014 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **30 августа 2016 г.**

Срок действия патента истекает **10 декабря 2034 г.**

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.И. Ильин



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2813509

Сухая штукатурная смесь на основе извести

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Тюменский индустриальный университет" (ТИУ) (RU)*

Авторы: *Панченко Дмитрий Алексеевич (RU), Панченко Юлия Федоровна (RU), Королева Ольга Игоревна (RU), Нормания Борис Евгеньевич (RU), Румянцева Варвара Евгеньевна (RU)*

Заявка № 2023113974

Приоритет изобретения 26 мая 2023 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 12 февраля 2024 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 26 мая 2043 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Электронная подпись
Сертификат 4259640163463364a9969693b73c4aa7
Владелец: **Зубов Юрий Сергеевич**
действителен с 19.02.2023 по 02.04.2024

Ю.С. Зубов