

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г. ШУХОВА»**

На правах рукописи



ОТМАН АЗМИ С.А.

**ШТУКАТУРНЫЕ РАСТВОРЫ НА ОСНОВЕ
КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО
(на примере Палестины)**

2.1.5. Строительные материалы и изделия

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

Научный руководитель:

доктор технических наук, доцент

Чернышева Наталья Васильевна

Белгород 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	12
1.1 Географическое положение, климат и традиционное жилище Палестины.....	13
1.2 Минерально-сырьевая база Палестины.....	17
1.3 Анализ применения гипсовых растворов для отделочных работ в Палестине.....	23
1.4 Требования к штукатурным растворам для отделки зданий и сооружений.....	31
1.5 Выводы к главе 1.....	34
2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ	35
2.1 Методы исследований композиционного гипсового вяжущего и штукатурных растворов на его основе.....	35
2.2 Применяемые материалы.....	42
2.3 Органические добавки, применяемые в работе.....	46
2.4 Выводы по главе 2	48
3 НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ.....	49
3.1 Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего.....	49
3.1.1 Определение активности кремнеземсодержащих компонентов КГВ по поглощению CaO	50
3.1.2 Определение гранулометрического состава КГВ путем расчетно-экспериментального моделирования.....	52
3.1.3 Термокинетические исследования компонентов КГВ....	60
3.2 Особенности структурообразования КГВ с органическими добавками.....	62
3.3 Выводы по главе 3.....	75

4	РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ КГВ.....	77
4.1	Влияние зернового состава заполнителя на свойства штукатурных растворов на основе композиционного гипсового вяжущего.....	77
4.2	Проектирование состава штукатурного раствора на КГВ методом математического планирования эксперимента.....	88
4.3	Оценка жизнеспособности штукатурного раствора на КГВ.....	103
4.4	Реологические свойства штукатурного раствора на КГВ.....	108
4.5	Оценка степени смачиваемости поверхности штукатурного раствора на КГВ.....	112
4.6	Определение прочности сцепления штукатурного раствора на КГВ.....	115
4.7	Определение водоудерживающей способности штукатурного раствора на КГВ.....	116
4.8	Выводы по главе 4.....	118
5	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	119
5.1	Внедрение модифицированных штукатурных растворов на основе КГВ.....	119
5.2	Разработка нормативных документов.....	120
5.3	Технология производства опытно-промышленной партии сухих штукатурных смесей.....	120
5.4	Расчет экономии материальных затрат на производство штукатурных растворов на основе КГВ.....	123
5.5	Выводы по главе 5.....	126
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	127
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	130
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	146

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В динамично развивающейся строительной отрасли Палестины растет потребность в расширении спектра экологически чистых отделочных строительных материалов, соответствующих предъявляемым к ним требованиям. Для реализации этого направления, учитывая принципы рационального природопользования, потребуется значительное количество строительных материалов с преимущественным использованием для их изготовления местного сырья природного и техногенного происхождения, что позволит уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и решить экономические проблемы в стране.

Особое место среди современных строительных материалов в Палестине занимают отделочные материалы для внутренней и наружной отделки зданий и сооружений. В стране для этих целей используют цементно-песчаную штукатурку импортного производства. Актуальной является разработка конкурентно способных отделочных материалов нового поколения – штукатурных растворов на основе композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) с использованием в качестве минеральной добавки, а также заполнителя кварцевых песков дюн и песчаной фракции отсева дробления известняка, как местного природного ресурса Палестины. Они отвечают высоким требованиям по качеству, эксплуатационным и экологическим характеристикам продукции, энергетическим затратам на их производство, смогут расширить номенклатуру отделочных материалов для улучшения среды обитания человека и создания комфортных условий для проживания, заменив импортные аналоги. Но, в связи с тем, что исследований относительно пригодности данных видов сырьевых материалов для штукатурных растворов не проводилось, это является тормозом для расширения их использования в строительстве.

Диссертационная работа выполнена в рамках программы развития и стабилизации стройиндустрии Палестины; гранта РНФ № 22-19-20115 и

Правительства Белгородской области (соглашение №3 от 24.03.2022); программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова до 2030 г.

Степень разработанности темы. При работе над диссертацией был проведен анализ патентных, технических и нормативных источников, изучены научные работы российских и зарубежных ученых, показавший, что имеются теоретические основы и значительный опыт проектирования составов и технологии производства строительных растворов различного назначения. Однако теоретических и практических подходов к использованию некондиционных песков песчаных дюн и песчаной фракции отсева дробления известняка Палестины в качестве мелкого заполнителя, не проводилось. Процессы формирования структуры и свойств штукатурных растворов на основе водостойкого КГВ для отделки зданий и сооружений Палестины требуют серьезного изучения.

Цель работы. Разработка научно обоснованного технологического решения, обеспечивающего получение штукатурного раствора на основе композиционного гипсового вяжущего для отделочных материалов с улучшенными свойствами.

Для достижения поставленной цели решали **следующие задачи:**

- обоснование возможности использования некондиционных песков песчаных дюн Палестины в качестве минеральной добавки для КГВ и заполнителя для штукатурного раствора на его основе;
- разработка рецептуры водостойкого КГВ с минеральной добавкой из тонкодисперсных песков песчаных дюн Палестины и штукатурного раствора на его основе, с использованием заполнителя с оптимизированным гранулометрическим составом из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка, путем модификации базовой вяжущей системы комплексом полифункциональных органоминеральных добавок;
- изучение особенностей механизма структурообразования, физико-механических характеристик, фазового состава гипсоцементной системы с комплексом полифункциональных органоминеральных добавок;

- разработка состава штукатурного раствора на основе КГВ с использованием заполнителя оптимизированного гранулометрического состава из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенного песчаной фракцией отсева дробления известняка;
- выявление закономерностей влияния вида заполнителя и его зернового состава на свойства штукатурных растворов на КГВ;
- изучение влияния рецептурно-технологических факторов на реологические, физико-механические и эксплуатационные характеристики штукатурного раствора на КГВ;
- установление закономерностей влияния рецептурно-технологических факторов на физико-механические свойства штукатурных смесей и затвердевших растворов, а также на коэффициент размягчения, позволяющие управлять процессом структурообразования на макро- и микроуровне;
- подготовка нормативных документов для реализации теоретических и экспериментальных исследований; промышленная апробация.

Научная новизна работы. Разработаны научно обоснованные технологические решения, обеспечивающие получение КГВ и штукатурного раствора на его основе с улучшенными физико-механическими характеристиками и водостойкостью, путем модификации базовой вяжущей системы комплексом полифункциональных органоминеральных добавок, а также использования заполнителя с оптимизированным гранулометрическим составом из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка. Оптимизация гранулометрического состава КГВ путем введения комплекса тонкодисперсных полиминеральных добавок (тонкодисперсного песка песчаных дюн, метакаолина ВМК-45, известняковой пыли) с определенной удельной поверхностью, обеспечивает создание высокоплотной упаковки частиц вяжущего. Это в совокупности с комплексом органических добавок, включающих замедлитель сроков схватывания Plast Retard PE, суперпластификатор Melflux 5581 F, стабилизатор Mapf Forbo-Crete

S 010, позволяет получать штукатурные смеси с заданными реологическими характеристиками, водоудерживающей способностью, подвижностью, скоростью схватывания и твердения.

Установлен характер влияния дозировки компонентов и гранулометрического состава КГВ, а также оптимизированной смеси заполнителей и суперпластификатора Melflux 5581 F на водопотребность штукатурного раствора, заключающийся в том, что при минимальном расходе воды в смеси требуемой подвижности обеспечивается повышение коэффициента размягчения и прочности затвердевшего штукатурного раствора в 7-ми суточном возрасте на 20 %, в 28-ми суточном – на 47 %, позволяющее увеличить степень гидрофобности поверхности камня за счёт создания высокоплотной упаковки на двух масштабных уровнях (КГВ и заполнитель).

Установлены закономерности влияния рецептурно-технологических факторов, а именно состава и содержания КГВ и заполнителя, комплекса органических добавок, водо-вяжущего отношения на подвижность и начало схватывания штукатурной растворной смеси, прочностные характеристики, а также коэффициент размягчения затвердевшего раствора, позволяющие управлять процессом структурообразования на макро- и микроуровне.

Теоретическая и практическая значимость работы. Дополнены теоретические представления о процессах структурообразования штукатурных растворов на основе водостойких КГВ, включающих тщательно подобранную смесь гипсовых вяжущих (β -модификации марки Г-5 БП + α -модификации марки ГВВС-16), портландцемента, полифункциональных органоминеральных добавок, а также заполнителя из некондиционных кварцевых песков дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка оптимизированного гранулометрического состава.

Обоснована и экспериментально подтверждена целесообразность и эффективность применения некондиционных песков песчаных дюн Палестины в качестве тонкодисперсной минеральной добавки КГВ, а также в качестве

заполнителя, обогащенного песчаной фракцией отсева дробления известняка для штукатурных растворов.

Предложены рациональные составы штукатурных растворов на КГВ с комплексом полифункциональных органо-минеральных добавок и заполнителем оптимизированного гранулометрического состава из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка, обеспечивающих снижение их водопотребности на 12 %; замедление начала схватывания в 5 раз (с 8-30 мин до 46 мин); снижение вязкости в 3,5 раза (с 26 Па с до 7,5 Па с) и предельного напряжения сдвига в 22 раза (с 110 Па до 5 Па); повышение предела прочности при сжатии затвердевших образцов в 7-ми суточном возрасте на 20 %, в 28-ми суточном возрасте (хранившихся во влажных условиях) – на 35 %, а высушенных до постоянной массы образцов – на 47 %; повышение коэффициента размягчения – с 0,69 до 0,76; повышение гидрофобности поверхности, показателя водоудерживающей способности – до 97 %, а также показателя прочности сцепления с бетонным основанием – до 0,8 МПа. Предложена технология производства КГВ и сухих штукатурных смесей на его основе.

Методология и методы исследования. Методологической основой диссертации явились результаты отечественных и зарубежных ученых в области теории и практики строительного материаловедения «состав – технология – структура – свойства», а также принцип моделирования сложных физико-химических процессов в многокомпонентных гипсоцементных системах, гарантирующих получение достоверных результатов. Свойства сырьевых материалов и разработанных штукатурных растворов определяли базовыми методами исследований, в т. ч. комплексом современных физико-химических методов анализа: лазерной гранулометрии и изотермической калориметрии, оптической и растровой электронной микроскопии, РФА, ДТА, математического аппарата структурной топологии и др.

Положения, выносимые на защиту:

- научно обоснованное технологическое решение, обеспечивающее получение КГВ и штукатурного раствора на его основе с улучшенными физико-механическими характеристиками и водостойкостью, с использованием комплекса полифункциональных органоминеральных добавок, а также заполнителя с оптимизированным гранулометрическим составом из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка;
- механизм влияния комплекса полифункциональных органоминеральных добавок на структурообразование КГВ и его характеристики;
- закономерности влияния рецептурно-технологических факторов на свойства штукатурной растворной смеси и затвердевшего раствора, позволяющие управлять процессом структурообразования на макро- и микроуровне;
- математические закономерности и графоаналитические зависимости изменения технологических характеристик и строительно-эксплуатационных свойств штукатурных растворов на КГВ;
- рациональные составы, технологические параметры и характеристики штукатурных растворов на КГВ с комплексом полифункциональных органоминеральных добавок и заполнителем оптимизированного гранулометрического состава из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка. Результаты опытно-промышленной апробации.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований обеспечивается использованием нормативных документов, широкого спектра методов исследований с применением сертифицированного и поверенного научно-исследовательского оборудования, сходимостью теоретических и экспериментальных исследований и воспроизводимостью результатов при большом объеме экспериментов.

Апробация результатов работы. Основные положения работы доложены и обсуждены на международных и всероссийских научно-практических конференциях в Белгороде (2020, 2023), Воронеже (2022 г.), п. Архыз Карачаево-Черкесской Республики (2023), Владивостоке (2023 г.), а также на семинарах кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций БГТУ им. В.Г. Шухова, в Белгороде (2021–2023).

Внедрение результатов исследований. Апробация разработанного технологического решения проведена в промышленных условиях на предприятии по производству товарного бетона «Harfoush Concrete» и в цехе многопрофильного предприятия по производству строительных материалов «Al-Bayaderblockfactory» в г. Рамаллах (Палестина). Внедрение выпущенной опытно-промышленной партии штукатурного раствора на КГВ произведено на объекте малоэтажного строительства при выполнении отделочных работ компанией «Al-Zaytouneh» в 2-х домах коттеджного типа в пригороде г. Рамаллах, в селе Дербзи (Палестина).

С целью внедрения результатов работы разработаны следующие нормативные документы:

- стандарт организации СТО 02066339-001-2023 «Водостойкое композиционное гипсовое вяжущее. Технические условия»;
- технологический регламент на производство водостойкого композиционного гипсового вяжущего для штукатурных растворов и сухих строительных смесей;
- технологический регламент на производство модифицированного штукатурного раствора на основе композиционного гипсового вяжущего.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований и промышленной апробации используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 08.03.01 «Строительство»; магистров по направлению 08.04.01 «Строительство».

Публикации. Основные положения диссертационной работы изложены в 9 научных публикациях, включая 4 статьи в российских рецензируемых научных

изданиях, рекомендованных ВАК, 1 свидетельство о депонировании результатов интеллектуальной деятельности.

Личный вклад соискателя состоит в непосредственном участии в определении цели и задач исследований, постановке и проведении научных экспериментов, обработке и интерпретации полученных данных, апробации и внедрении результатов работы.

Объем и структура работы. Диссертационная работа включает введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения. Диссертация изложена на 155 страницах машинописного текста, включающего 31 таблицу, 56 рисунков, список литературы из 149 источников, 7 приложений.

ГЛАВА 1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Рынок готовых сухих строительных смесей для отделочных работ во всем мире с каждым годом увеличивается [1,2]. В Палестине производство данного вида строительных материалов является одним из приоритетных развивающихся отраслей строительной индустрии, поскольку основной объем потребляемых в стране сухих строительных смесей для отделочных работ представлен зарубежными производителями. Использование для этих целей местного сырья природного и техногенного происхождения позволит удовлетворить возросшие требования к качеству отделочных материалов и комфортности жилья [3 – 8].

Отделочные строительные материалы на основе гипсовых вяжущих по экологическим и экономическим показателям, а также архитектурной выразительности не имеют себе равных [9 –17].

Значительный вклад в изучение процессов гидратации и твердения гипсовых бетонов и растворов на основе гипсовых вяжущих, в том числе с комплексом минеральных и химических добавок, внесли исследования отечественных и зарубежных ученых: М.Г. Алтыкис, С.Т. Андерсена, Е.П. Андреевой, А.А. Антипина, В.В. Бабкова, В.И. Бабушкина, Ю.М. Баженова, В.П. Балдина, А.А. Байкова, В.В. Белова, П.И. Белянкина, П.И. Боженова, П.П. Будникова, Г.Г. Булычева, Ю.М. Бутта, А.Ф. Бурьянова, А.В. Волженского, И.П. Выродова, М.С. Гаркави, П.Ф. Гордашевского, А.В. Долгорев, В.В. Иваницкого, К.К. Келли, Е. Кауфмана, В.Г. Клименко, Г.С. Коган, В.Ф. Коровякова, В.С. Лесовика, М. Лешателье, Ю.Г. Мещерякова, И.В. Моревой, О.П. Мchedлова-Петросяна, В. Михаэлиса, И.В. Недосеко, В.Б. Петропавловской, С.С. Печуро, А.Н. Плугина, А.Ф. Полака, А.П. Пустовгара, Ю.В. Пухаренко, В.Б. Ратинова, Р.З. Рахимова, П.А. Ребиндера, Е.Е. Сегаловой, В.И. Стамбулко, М.М. Сычева, Л.М. Сулименко, Д.С. Суттарда, А.В. Ферронской, Х.-Б.Фишера, М.И. Халиуллина, О. Хеннинга, В.Г. Хозина, Н.В. Чернышевой, Ю.Д. Чистова, Л.Д. Чумакова, В.Н. Юнга, Г.И. Яковлева и многие другие. Вопросам производства и использования гипсовых материалов посвящены выступления ученых на Международных и Всероссийских конференциях.

1.1 Географическое положение, климат и традиционное жилище Палестины

Палестина расположена на восточном побережье Средиземного моря [18 – 22] между тремя континентами – Африкой, Азией и Европой (рисунок 1.1). По данным Центрального статистического бюро Палестины (ЦСБС) страна разделена на две, не связанные географические области: Западный берег – с населением 2 881 687 человек и сектор Газа – с населением 1 899 291 человек, с плотностью населения 794 чел/км² (рисунок 1.1)



Рисунок 1.1 – Карта Палестины

Рельеф сектора Газа плоский или извилистый, с песчаными дюнами у побережья. Самая высокая точка - Абу-Оде на высоте 105 м над уровнем моря [22].

Рельеф Западного берега в основном представляет собой возвышенность, которая простирается от впадины на северном берегу Мертвого моря (429 м ниже

уровня моря) до самой высокой точки в Джебель-ан-Наби-Юнисе на высоте 1030 м над уровнем моря. Район Западного берега не имеет выхода к морю.

Климат Палестины неоднороден, он колеблется от средиземноморского до климата пустынь. В горной местности немного прохладнее по сравнению с побережьем на западе региона. На востоке Западный берег включает большую часть пустыни Хеврон, в том числе западное побережье Мертвого моря с сухим и жарким климатом. Зимой здесь начинается сезон дождей, а летом усиливается засуха. Среднегодовая температура наружного воздуха в разных районах Палестины колеблется между от +16,1 °C до +23,2 °C. Самым холодным месяцем года является январь с среднемесячным значением температуры +7,7 °C. Самым жарким месяцем года является август с среднемесячной температурой +31,4 °C.

В Газе климат полусухой с мягкой зимой и жарким сухим летом. Весна наступает с марта по апрель, а самые жаркие месяцы - июль и август, со средней температурой 33 ° C. Самый холодный месяц - январь с температурой 7 ° C. Дождь бывает редко и обычно выпадает с ноября по март, при этом среднегодовое количество осадков составляет 116 мм.

В Палестине практически круглый год наблюдаются оптимальные значения относительной влажности воздуха, что способствует достаточно комфортным условиям проживания как летом, так и зимой, что является особенно важным в стране с жарко-сухим климатом.

Таким образом, в Палестине много климатических зон, которые означают разные температуры, демографию и разные условия окружающей среды. С августа 2002 г. в Палестине при поддержке ООН [17] были выделены климатические зоны.

Зона 1: простирается вдоль восточных склонов Западного берега, включая Мертвое море и часть долины Иордана; занимает площадь 1103,3 км², характеризуется жарким и сухим климатом летом и теплой зимой.

Зона 2: простирается вдоль восточных склонов. занимает площадь 823,2 км² и характеризуется жарким и сухим климатом летом и теплой зимой.

Зона 3: простирается по всей территории Западного берега; занимает площадь 969,1 км², характеризуется средиземноморским климатом (полузасушливый регион) с жарким летом до полугода и мягкой зимой,

Зона 4: простирается вдоль Западного берега и считается его сердцем, включая Наблус, Иерусалим, Вифлеем, Рамаллах и Аль-Бира; занимает площадь 1314,6 км²; характеризуется средиземноморским климатом, с теплым и частично влажным летом и холодной зимой.

Зона 5: включает Дженин, Тулькарм, Калькилия и Сальфит; занимает площадь 1461,2 км²; характеризуется средиземноморским климатом с теплым влажным летом и умеренной зимой.

Климатические зоны сектора Газа:

Зона 6: охватывает всю береговую линию и большую часть северного, южного и центрального районов сектора Газа, где проживает более 97 % населения; климат влажный, средняя температура 18°C.

Зона 7: в ней проживает около 2,8 % населения всего сектора Газа, климат засушливый пустынный.

К сожалению, следует отметить, что в Палестине не уделяется достаточного внимания к климатическим зонам и их влиянию при проектировании «зеленых» зданий.

В Палестине строили дома нескольких типов. Они отличались друг от друга в зависимости от климата, географической зоны и материалов [23 - 28].

Дома в 1-ой географической зоне строились в основном малой и средней этажности из природных каменных материалов или блоков;

во 2-ой географической зоне со сложным горным рельефом – дома строились из местных каменных материалов;

в 3-ей и 4-ой географических зонах пустынного района – малоэтажные дома строились из глины (самана).

Для создания комфортных условий проживания стены домов строили толщиной до 100 см, каменную кладку возводили из 2-х слоев с пространством между камнями, заполняемым грунтом и осколками камней.

Стеновые конструкции оштукатуривали и украшали мозаичной графикой со сложным орнаментом или растительным узором.

В настоящее время Палестина является развивающейся страной, но находится под оккупацией. Израиль ограничивает перспективы открытой торговли электроэнергией и нефтепродуктами, лишая возможность развивать в Палестине энергетический сектор [29]. Данная трудная реальность для такой развивающейся страны делает возобновляемые источники энергии радикальным решением проблемы независимости и безопасности энергетического сектора.

Экологически безопасное строительство является одним из самых важных элементов устойчивого развития в Палестине, а строительный сектор является одним из крупнейших секторов, влияющих на экономику, социальную и экологическую обстановку. Отрасль напрямую влияет на качество окружающей среды на всех этапах строительства, эксплуатации и обслуживания зданий. В 2010 г. в строительном секторе Палестины был зафиксирован самый высокий темп роста строительства – 36 %, с увеличением числа рабочих в этой отрасли на 22 % по сравнению с 2009 г. [30].

Проведенные исследования показывают, что города поглощают 75 % всей мировой энергии, и, следовательно, являются в мире крупнейшими источниками выбросов парниковых газов. Строительство «зеленых» зданий является одним из самых эффективных способов сокращения выбросов углерода в городах. Проектирование «зеленых» энергосберегающих зданий в Палестине в сочетании с эксплуатацией возобновляемых источников энергии, особенно солнечной энергии, с 300 солнечными днями в году и средней солнечной радиацией 5,4 кВт ч / м², может быть единственным выходом из сложившейся ситуации [31-37]. Эффективное использование солнечной энергии, энергии ветра и геотермальной энергии в процессе проектирования «зеленого» строительства, позволит радикально решить проблемы регуляции истощения энергии, а также добиться желаемой независимости в энергетическом секторе в Палестине.

1.2 Минерально-сырьевая база Палестины

На протяжении многих веков в Палестине основными материалами, используемыми в строительстве, являются природные каменные материалы (гранит, базальт, мрамор, известняк гипс, а также туф, глина, песок [38-40] (рисунок 1.2).

Для отделки конструкций зданий в Палестине в основном используют штукатурные растворы на основе цемента, импортируемого из соседних стран.



Рисунок 1.2 – Природные ресурсы Палестины

Страны-производители – Египет, Иордания, Саудовская Аравия, Объединенные Арабские Эмираты – выпускают продукцию (более 100 миллионов тонн цемента в год) высокого качества, экологически безопасную и с минимальными затратами на производство. Цементные заводы располагаются в разных городах, таких как Жада и Аль-Рияд, и могут обеспечивать своей продукцией не только внутренний рынок, но и международный.

В странах Ближнего Востока имеется много месторождений гипсового камня и ангидрита, самое крупное располагается вдоль побережья Красного моря в Саудовской Аравии [41]. В процессе археологических раскопок было установлено, что впервые его широкое применение началось в Древнем Египте в 5000–2600 г. г. до н.э. в составе гипсовых растворов, используемых для устройства бесшовных полов, для стенной каменной кладки и штукатурки и др.

Кроме гипса учеными были обнаружены примеси карбоната кальция и кварцевого песка, которые, видимо, специально добавлялись в раствор и штукатурку (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3– Использование гипсового раствора для скрепления блоков

В Палестине месторождения гипсового камня находится в очень малых количествах. Основное месторождение – это Лисанская свита в центральной долине реки Иордан, которая состоит из ленточных отложений и увенчана «Белой» скалой, содержащей обильные слои гипса: низкий слоистый элемент и верхнюю часть. Высота «Белой» скалы 5–7 м. Нижняя часть отложений состоит из

тонкослоистых известняковых илов и арагонита мощностью 15 м (составляет менее 30 % пачки). Также присутствуют второстепенные слои песка. Средняя часть состоит из массивных черных глин мощностью около 9 м.

Среди глинистых минералов преобладают смешанные прослои иллитсметтита с незначительной долей каолинита и с содержанием органического вещества. Верхний слой состоит в основном из прочных тонких слоев арагонита и ила мощностью 18 м. Присутствуют также тонкий песок и глиняные слои. Самый верхний слой (мощностью 5–7 м) образует тонкослоистый белый обрыв («Белую» скалу) с обильными гипсовыми отложениями высокой чистоты (рисунок 1.4).

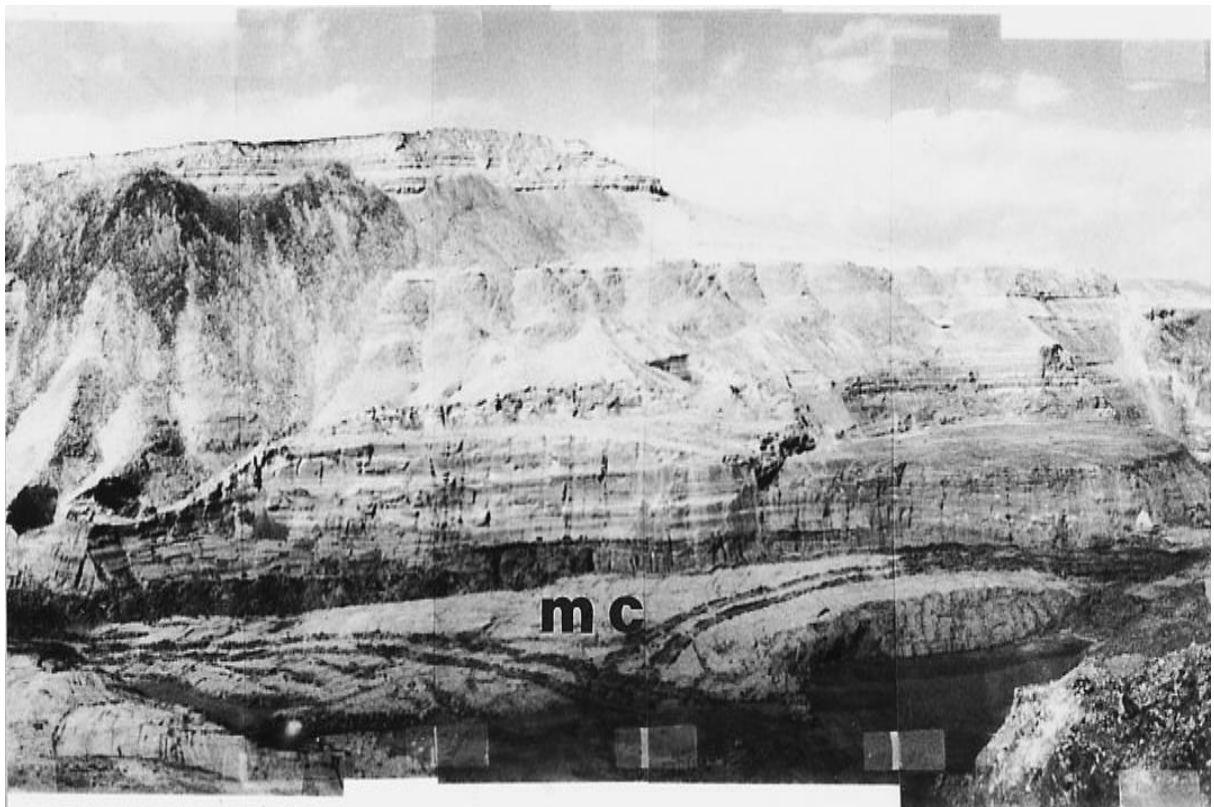


Рисунок 1.4 – Скалы гипсового камня в Палестине

В качестве мелкого заполнителя в штукатурных растворах в Палестине используют природные местные материалы – кварцевый и ракушечный песок, в том числе с примесями полевого шпата, а также песчаную фракцию отсеков дробления известняка, мрамора, гранита и базальта. Песок имеет различную

крупность: модуль крупности от 2,2...3,5 мм до песков с размером частиц от 0,07...1 мм.

В различных частях юга Палестины – от пустыни Хеврона, района Беэр-Шевы и района Газы до залива Акаба на севере – степные и пустынные песчаные почвы светло-желтого, серого и светло-коричневого цвета [42]. Они состоят из частиц песка, которые переносятся ветрами, образуя песчаные дюны, которые преобладают в лёссовых землях и других пустынных почвах в этих районах. Почва слабокислая (2-5%), в ней практически отсутствует органическое вещество, обычно глубокая и мощная, имеет красновато-желтый цвет за счет окислов железа на зернах кварцевого песка. Эта почва водопроницаема, соли в ней мало или совсем нет, поэтому инфильтрация воды в ней велика.

Песчаные дюны в Палестине занимают площадь около 1600 км², приблизительно 81 % территории (1300 км²) расположено в северо-западной части Негева, а оставшаяся часть в основном расположена на южной прибрежной равнине

В секторе Газа песчаные дюны перекрывают формацию Газа, которая состоит из чередования известняковых песчаников и красновато-коричневых мелкозернистых отложений вдоль средней части сектора Газа (между Прибрежным хребтом и хребтом Аль-Монтар). Кроме того, песчаные дюны покрывают пляж вдоль западной окраины Стрипа.

В западной и средней части сектора Газа из-за слабого ветра в Палестине еще в конце прошлого века дюны стабилизировались и имеют значительный растительный покров.

В секторе Газа песчаные дюны широко распространены и в его северных, центральных и южных районах. При исследовании механических и химических свойств песков дюн было установлено, что средний размер их зерен – от мелкого до среднего, сортировка песков варьируется от умеренной до хорошей. Асимметрия – от мелкой до очень мелкой. Кроме того, результаты показывают, что содержание карбонатов колеблется от 1,5 % до 5 %. Высокая проницаемость,

хорошая пористость и низкое содержание карбонатов. Песчаные дюны в секторе Газа богаты кварцем с меньшим количеством плагиоклаза (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Песчаные дюны Палестины

Принадлежащие свите Газа хребты Куркар, состоят из *известняковых* песчаников (местное название куркар), чередующихся с коричнево-красными мелкозернистыми отложениями (местное название хамра).

Классификация и предполагаемые источники песчаных дюн в зависимости от географического положения можно выделить две основные категории песчаных дюн:

- 1 – пляжные песчаные дюны;
- 2 – пустынные песчаные дюны.

Пляжные песчаные дюны расположены вдоль пляжа на западной окраине сектора Газа. Песок состоит из большого количества светло-желтого или прозрачного сахаристого кварца с наличием примерно 1 % акцессорных минералов темного цвета. Песчинки характеризуются среднезернистым, хорошо отсортированным песком. Песок этого типа происходит из морских отложений,

которые переносились вдоль восточного побережья Средиземного моря из дельты Нила береговыми течениями.

Пустынные песчаные дюны расположены вдоль средней части сектора Газа, состоят из плагиоклаза, полевого шпата, алюмосиликатов натрия или кальция.

Для внешней облицовки зданий и сооружений более трех тысячелетий используется высококачественный известняк северной Палестины [43, 44]. Известняк с юга Западного берега несколько иной, поэтому он используется как твердый полированный известняк (его называют «мрамором»). Из известняка строили и строят замечательные сооружения в стране – большое количество культурных, исторических и культурных объектов в городах Акко, Яффо, Назарет, Наблус, Иерусалим, Вифлеем, Хеврон, Иерихон и др.

Цвет известняка варьируется от белого до розового, желтого и желтовато-коричневого. Эти породы (толщиной около 800 м), состоит из богатых морских ископаемых – комплексов известняков с прослоями доломита, мергеля, мела и аргиллита, а также некоторых кремнистых пород (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Отсевы дробления известняка в Палестине

При добыче и переработке известняка ежегодно образуется огромное количество отходов камнедробления, которые загрязняют окружающую среду.

С целью уменьшения экологических последствий и устойчивого развития в Палестине разрабатывается стратегия поддержки этого сектора промышленности.

Имеющиеся запасы кремнеземистого сырья в виде некондиционного кварцевого песка песчаных дюн и отсеков дробления известняка в Палестине дают возможность для их широкого использования для производства строительных материалов.

1.3 Анализ применения гипсовых растворов для отделочных работ

В странах Ближнего Востока с давних времен для отделки стен и потолков, напольных стяжек в различных сооружениях использовали гипсовый раствор. Учеными [45, 46] с помощью химического анализа было установлено, что состав штукатурки, применяющейся в древности, похож на строительный раствор и включал частично обезвоженный естественным путем (при нагреве под солнечными лучами) гипс, глину, карбонат кальция и кварцевый песок. В состав растворов, вероятно, вводили добавки для увеличения времени схватывания и затвердевания, например, молочную сыворотку (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Химический состав гипсовых растворов древности

Химический состав, %	Кладочный гипсовый р-р (2900-2160 гг. до н.э.)	Гипсовая штукатурка (1580-1090 гг. до н.э.)
	Количество исследованных проб	
	21	2
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	23,4 – 99,5	15,5 – 84,8
SiO_2	1,5 – 9,6	0 – 25,6
CaCO_3	2,1 – 7,6	11,0 – 32,0
MgCO_3	–	7,5 – 15,2
Al_2O_3 + Fe_2O_3	0 – 9,3	–

Не смотря на многовековой опыт, использование гипсового вяжущего в составе штукатурных растворов в Палестине в настоящее время ограничено. Штукатурные гипсовые растворы применяются только для внутренней отделки зданий, относительная влажность воздуха в которых менее 70 %, но они не водостойки из-за высокой растворимости гипса в воде, а при увлажнении обладают значительной ползучестью, низкой морозостойкостью и др. Все это ограничивает их применение для наружной отделки.

Необходимо отметить, что в качестве вяжущего вещества в составе штукатурных смесей для наружной отделки зданий и сооружений в Палестине в основном используют портландцемент, отличающийся длительными сроками схватывания и довольно медленным набором первоначальной прочности.

Постоянный рост (на 40-50 млн. т/год) производства портландцемента в мире, к сожалению, усугубляет негативную экологическую ситуацию в связи с большим количеством выбросов (в основном в воздух), возникающих во время работы цементных печей, и образующихся в результате физических и химических реакций сырья и топлива. Основными загрязняющими веществами, попадающими в атмосферу, являются пыль, оксиды азота (NO_2) и диоксид серы (SO_2). Также могут выделяться: монооксид углерода (CO), полихлорированные дибензодиоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ), органические соединения (полиароматические углеводороды), металлы – ртуть (Нд), таллий (Тl), кадмий (Cd), хлористый водород (HCl) и фтористый водород (HF). Считается, в Арабских странах в результате работы цементных заводов в атмосферу выделяется более 7 % CO_2 и других вредных веществ.

Научные разработки ученых нескольких последних десятилетий подтверждают эффективность использования гипсовых вяжущих, растворов и бетонов на их основе в строительной отрасли. Перспективным является развитие производства штукатурных растворов на основе композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) нового поколения [47-74] – вяжущих с комплексными модификаторами структуры, с заменой значительной части энерго- и ресурсоемкого цемента нано-, ультра- и микродисперсными активными механо-активированными полиминеральными

добавками и наполнителями из природного и техногенного сырья, позволяющими повысить прочность, водостойкость, атмосферостойкость и др. свойства (рисунок 1.7).



Рисунок 1.7 – Объективные предпосылки на производство КГВ для штукатурных растворов

Модифицированный штукатурный гипсовый раствор должен включать гипсовое вяжущее (или их смесь) требуемой марки, цемент, комплекс минеральных и органических добавок, наполнитель и мелкий заполнитель.

Штукатурные растворы на основе КГВ имеют ряд преимуществ перед цементно-песчаными. Они достаточно подвижны и способны равномерно распределяться по оштукатуриваемой поверхности материала, быстро набирать необходимую прочность и затвердевать. Их применение, в сравнении с цементными растворами, позволяет почти в два раза снижать трудозатраты и получать большую оштукатуренную площадь. Вследствие достаточно высокой адгезии штукатурными гипсовыми растворами можно оштукатуривать любые поверхности: бетонные, кирпичные, каменные и др.

В числе российских производителей гипсовой штукатурки – компании «Кнауф», «Волма», «Керафлекс», «Старатели», «Боларс», «Основит», «Глимс», «Unis» и др. [75-79].

Почти 70 лет на рынке сухих гипсовых смесей лидирует международная компания КНАУФ – одна из крупнейших производителей стройматериалов в мире [75]. К наиболее известным видам гипсовых штукатурных смесей фирмы КНАУФ относится штукатурная гипсовая универсальная смесь «КНАУФ-Ротбанд» с добавками и с легким заполнителем, обеспечивающими повышенную адгезию. Предназначена для высококачественного оштукатуривания вручную потолков и стен с обычным твердым основанием (бетон, кирпич, цементная штукатурка), а также поверхностей из пенополистирола, пазогребневых плит, ЦСП, внутри помещений с нормальной влажностью, а также в кухнях и ванных комнатах (с покрытием, обеспечивающим защиту от увлажнения). Особенно рекомендуется для гладких бетонных потолочных и стеновых поверхностей.

Штукатурка гипсовая машинного нанесения КНАУФ-МП 75 – сухая смесь на основе гипсового вяжущего с полимерными добавками. Предназначена для высококачественного оштукатуривания стен и потолков внутри помещений с нормальной влажностью, а также в кухнях и ванных (с покрытием, обеспечивающим защиту от увлажнения) машинным способом, например с

помощью штукатурных машин PFT G4, Ritmo M, L, XL, что обеспечивает значительное превосходство в производительности по сравнению с ручным способом при больших объемах работ. Наносится на все обычные твердые основания (кирпичная кладка, цементная штукатурка, бетон, пенополистирольные пазогребневые плиты и т. п.).

Штукатурка гипсовая универсальная машинного нанесения КНАУФ-МП 75 Ультра – безусадочная, универсальная сухая штукатурная смесь на основе гипса со специальными добавками, обеспечивающими высокую адгезию, водоудерживающую способность и оптимальное время работы. Предназначена для тонкослойного и толстослойного выравнивания стен и потолков внутри помещений с нормальным влажностным режимом, а также в кухнях и ванных комнатах (с покрытием, обеспечивающим защиту от увлажнения) с помощью штукатурных машин фирмы PFT G4 и Ritmo M, L, XL. Наносится на все обычные твердые основания (газобетон, пенобетон, кладка из керамического /силикатного/ пустотелого кирпича, бетон, старые цементные, известковые и гипсовые штукатурки, пенополистирольные и пазогребневые плиты и т. п.).

Гипсовая штукатурка КНАУФ ХП Старт на основе гипса с полимерными добавками применяется для оштукатуривания вручную стен с бетонным или кирпичным основанием внутри помещений с нормальной влажностью, включая кухни и ванные комнаты с покрытием, обеспечивающим защиту от увлажнения.

Гипсовые штукатурки с полимерными добавками КНАУФ Гольдбанд, КНАУФ Туллер и др. обеспечивают повышенную адгезию и легкость выполнения отделочных работ.

Гипсовая штукатурная смесь «Ветонит Профи Гипс» [76] с полимерными добавками благодаря наличию в составе микроволокон и пластификаторов, обладает повышенными адгезионными способностями к широкому спектру оснований, начиная с бетона и заканчивая гипсовыми поверхностями. Предназначена для базового выравнивания стен и потолков в сухих помещениях с нормальной влажностью, также в кухне, коридоре, санузле (кроме ванных комнат) на бетон, пенобетон, кирпич, оштукатуренные поверхности, гипсовые

поверхности. Трещиностойкая. Нанесение слоев от 5 до 50 мм (локально до 100 мм). Легко набрасывается и разравнивается, суперпластичная.

Гипсовая штукатурная смесь «ВОЛМА Слой» компании ВОЛМА, предназначена для внутренних отделочных работ, включающая гипс, минеральные и химические компоненты, также обладает повышенными адгезионными способностями и прекрасно держится за бетонные, кирпичные, газобетонные и др. виды оснований. Добавки-замедлители, входящие в состав сухой смеси, позволяют использовать готовый раствор в течение 1-2 часов с момента его замешивания. Главным преимуществом этого материала, является глянцевая поверхность нанесенного слоя. Штукатурка является экологически чистым материалом (подтверждено соответствующими сертификатами) [77].

Гипсовая штукатурка влагостойкая «Unis» предназначена для внутренней отделки помещений с умеренной и повышенной влажностью позволяет нанесение толстого слоя за один проход (от 5 до 50 мм). Время схватывания приготовленного раствора - 50 мин., наносится на стены вручную и с помощью средств механизации, но отличается слабой адгезией. Применяется по недеформирующимся основаниям: бетонным, пенобетонным, гипсовым, цементно-песчаным, кирпичной кладке и другим [78].

Гипсовая штукатурка белая «ОСНОВИТ ГИПСВЭЛЛ PG25 W» предназначена для выравнивания стен и потолков в помещениях с нормальной влажностью. имеет жизнеспособность 90 минут. Толщина одного слоя – от 3 до 80 мм. Благодаря хорошей адгезии состав может применяться на бетонных, кирпичных, гипсовых основаниях. Не рекомендуется применение в сухих отапливаемых помещениях. Предназначена для ручного и механизированного нанесения [79].

Аналогичные гипсовые штукатурные смеси разработаны на основе водостойких гипсовых вяжущих.

Авторами работы [47] для получения модифицированного гипсового раствора предлагается использовать гомогенную смесь любого гипсового вяжущего с фракционированным песком, органоминеральным модификатором специального состава и ряда добавок. Органоминеральный модификатор (ОММ) получают

механохимической активацией (МХА) смеси из портландцемента, кремнеземистого компонента (тонкодисперсного кварцевого песка и микрокремнезема), суперпластификатора С-3 и гиперпластификатора на основе поликарбоксилатов, лигносульфоната технического, замедлителя схватывания – винной кислоты. водоудерживающей добавки. МХА содействует повышению скорости и степени гидратации портландцемента и увеличению активности кремнеземистых компонентов, повышению реакционной способности трехкальциевого алюмината и других минералов.

Авторами статьи [48] для повышения прочности и водостойкости гипсовых штукатурных растворов предлагается использовать комплекс гидравлических, пуццолановых и ультрадисперсных добавок. Разработанные составы вяжущих, состоящие из гипса 55-75 %, цемента 5-35 %, микрокремнезема 10-15 %, ультрадисперсной углеродной добавки 0,001-0,005 % (сажи, со средним размером частиц 150-180 нм). Добавка сажи способствует интенсификации процессов твердения гипсоцементно-пуццоланового вяжущего и приводит к формированию более однородной и тонкодисперсной фазовой структуры вяжущих.

В работе [49] приведены результаты исследований по повышению прочности и водостойкости гипсовых материалов за счет уплотнения структуры композита с помощью полифункциональных добавок на основе микрокремнезема и углеродных микро- и наноструктур. Рассматривается возможность модификации гипсоизвесткового вяжущего метакаолином с целью повышения прочности и водостойкости камня из смешанного воздушного вяжущего.

В работах [50,51] авторами разработаны водостойкие бесклнкерные композиционные гипсо-известково-керамзито-шлаковые вяжущие (КГИКШВ) с содержанием в их составе до 60 % с по массе молотых промышленных отходов – керамзитовой пыли и доменного шлака, а также композиционные гипсовые вяжущие повышенной водостойкости, содержащие 20% керамзитовой пыли дисперсностью 500 м²/кг, 5% извести и 0,5-1% суперпластификаторов С-3, Полипласт СП-1ВП, Melment F15G и обеспечивающие получение вяжущих с прочностью при сжатии 23-25 МПа и коэффициентом размягчения 0,74-0,78.

Штукатурные сухие смеси на их основе могут применяться для выравнивания и оштукатуривания поверхностей в наружных работах при условии защиты от длительного постоянного увлажнения и при проведении внутренних работ в помещениях с сухим, нормальным режимом эксплуатации в соответствии со СНиП 23-02-2003, что является их преимуществом по сравнению с традиционными штукатурными сухими смесями на основе строительного гипса.

В Палестине до настоящего времени исследования, направленные на получение штукатурных растворов на основе КГВ, в том числе для наружных работ, не проводились (рисунок 1.8).



Рисунок 1.8 – Основные проблемы широкого внедрения штукатурных растворов на КГВ в Палестине

1.4 Требования к штукатурным гипсовым растворам для отделки зданий и сооружений

К материалам, применяемым для изготовления штукатурных смесей предъявляются определенные требования.

Гипсовое вяжущее, применяемое для изготовления штукатурных смесей, должно соответствовать требованиям ГОСТ 125-2018 [80].

Заполнители, наполнители и добавки, применяемые для изготовления штукатурных смесей, должны соответствовать действующим стандартам или техническим условиям на эти материалы и обеспечивать получение смесей в соответствии с требованиями настоящего стандарта.

Химические добавки не должны выделять в окружающую среду вредные вещества в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации (ПДК). Добавки вводят в сухие смеси в виде водорастворимого порошка или гранул.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ минеральных материалов, применяемых для изготовления штукатурных смесей, не должна превышать значений, установленных в ГОСТ 30108-94 [81].

Штукатурные растворы на основе гипсового вяжущего с модифицирующими добавками, заполнителями и наполнителями предназначенные для выравнивания и оштукатуривания бетонных, каменных, кирпичных, гипсовых и других поверхностей должны отвечать требованиям ГОСТ Р 58279—2018 «Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия» [82].

Свойства штукатурных растворов должны характеризоваться показателями качества смесей в сухом состоянии, растворных и затвердевших смесей (таблица 1.2).

К штукатурным растворам для наружных работ предъявляется ряд требований. Предел прочности при сжатии затвердевших раствором должен соответствовать М25...М150, показатель морозостойкости – F30 и более, коэффициент водостойкости – 0,6 и более.

В связи с вышеизложенным, **рабочая гипотеза** заключается в определении возможности получения модифицированного штукатурного раствора на основе КГВ с минеральной добавкой и мелким заполнителем из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка и органических добавок, обеспечивающих повышенную водостойкость и прочность.

Таблица 1.2 – Требования к штукатурным гипсовым смесям для внутренней отделки

№ п/п	Свойства	Значение
Сухие штукатурные смеси		
1	Влажность	
2	Крупность зерен размером: более 5 мм - 1,25 мм - 0,20 мм - 0,125 мм	0 не более 1% не более 12% не более 15%
Штукатурные растворы, готовые к применению		
3	Начало схватывания с момента затворения водой не ранее: при производстве работ вручную при механизированном производстве работ	30 мин 60 мин
4	Подвижность (диаметр расплыва): при производстве работ вручную при механизированном производстве работ	150±10 мм 160±10 мм
Затвердевшие штукатурные смеси		
5	Предел прочности на растяжение при изгибе	не менее 1,0 МПа.
6	Предел прочности при сжатии	не менее 2,0 МПа
7	Прочность сцепления	не менее 0,3 МПа.
8	Удельная эффективная активность естественных радионуклидов, Аэфф, установленных в ГОСТ 30108.	до 370 Бк/кг

В соответствии с рабочей гипотезой, для получения модифицированного штукатурного раствора на КГВ необходимо разработать состав вяжущего с комплексом минеральных и органических добавок, а также гранулометрический состав мелкого заполнителя из местного некондиционного песка и песчаной фракции отсева дробления Палестины, что обеспечит ему повышенные свойства.

Исходя из теоретических основ проектирования КГВ, представленных в научных трудах В.Ф. Коровякова, А.В. Ферронской и др. [59-73], эти вяжущие включают гомогенную активированную смесь нескольких компонентов разного зернового состава: гипсовое вяжущее (регулирует сроки схватывания и твердения), а также гидравлический модификатор, полученный механоактивацией портландцемента, кремнеземсодержащей добавки и суперпластификатор (обеспечивает повышение активности минеральных компонентов, повышение скорость, степень гидратации и гидравлическость вяжущего, а также стойкость сложившейся структуры во времени).

Для обеспечения повышенных характеристик КГВ необходимо получение оптимальных (или рациональных) соотношений между его компонентами и их зерновым составом, а также количеством химических добавок. Это позволит создать новый тип структуры разработанных вяжущих, повысить показатели их прочности и водостойкости.

Для создания устойчивых структур твердеющих КГВ необходимо учитывать, что разрушение в гипсоцементной системе происходит из-за образования $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ (этtringита), объем которого во много раз превосходит сумму объемов исходных соединений. С целью исключения разрушения структуры твердеющей композиции в ее состав вводят содержащие активный кремнезем (SiO_2) гидравлические добавки. Их функция заключается в уменьшении концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$, что позволит создать условия для метастабильного существования этtringита и увеличения количества низкоосновных малорастворимых новообразований, что позволит обеспечить формирование устойчивых структур гипсоцементного камня.

Химические добавки изменяют процессы структурообразования гипсоцементного камня [83-91]. Обладая значительным электрокинетическим потенциалом, они адсорбируются в основном на поверхности частиц цемента и не оказывают воздействия на сульфатную составляющую, благодаря чему замедления структурообразования гипса практически не наблюдается. Они оказывают диспергирующее и пластифицирующее действие (за счет уменьшения

В/Вяз отношения), что способствует повышению прочности затвердевшего КГВ. Введение в гипсоцементные композиции добавок, нейтрализующих $\text{Ca}(\text{OH})_2$, способствует улучшению условий формирования искусственного камня.

Таким образом, анализируя вышеприведенные данные, следует отметить, что, несмотря на многочисленные исследования, актуальной задачей современного строительства в Палестине, особенно с учетом развития малоэтажного жилищного строительства, где используются преимущественно мелкоштучные стеновые изделия, стены из которых требуют оштукатуривания, является организация производства штукатурных гипсовых растворов высокого качества и повышенной водостойкости.

1.5 Выводы к главе 1

1. Анализ опыта использования гипсосодержащих строительных материалов на Ближнем Востоке и в других странах мира показал, что материалы и конструкции на их основе в полной мере отвечают требованиям современной архитектуры и строительной практики.

2. В Палестине имеется возможность для производства водостойких КГВ и штукатурных растворов на их основе для внутренней и наружной отделки зданий и сооружений с использованием в качестве мелкого заполнителя местных некондиционных кварцевых песков песчаных дюн и песчаной фракции отсева дробления известняка.

3. Использование модифицированных штукатурных растворов на основе водостойких КГВ на основе местного сырья природного и техногенного происхождения будет способствовать развитию производства «зеленых» высокоэффективных строительных материалов и экономичного «зеленого» строительства в Палестине.

2 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРИМЕНЯЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

2.1 Методы исследований композиционного гипсового вяжущего и штукатурных растворов на его основе

Определение физико-механических свойств КГВ и штукатурных растворов на их основе производилось на аттестованном испытательном оборудовании. Выбор методов испытания выбирался с учетом рекомендаций по контролю качества, а также нормативных документов по испытаниям строительных материалов [92-94].

Для измерения удельной поверхности тонкодисперсных компонентов КГВ применяли аппарат дисперсионного анализа серии ПСХ-10а (рисунок 2.1), в котором использован метод газопроницаемости Козени и Кармана.



Рисунок 2.1 – Прибор ПСХ-10а для измерения удельной поверхности тонкодисперсных материалов

Для определения удельной поверхности компонентов вяжущего также был использован прибор «Sorbi®-М» (метод низкотемпературной адсорбции инертных газов по 4-х точечному методу БЭТ.

Зерновой состав тонкодисперсных компонентов КГВ определяли на установке MicroSizer 201 (метод лазерной гранулометрии). Данный анализатор частиц позволяет определять содержание частиц в процентах, а также изучать их размер от 0,2 до 600 мкм, разбивая их на 40 фракций (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Лазерный анализатор частиц MicroSizer 201

За стандартную *консистенцию* (по ГОСТ 23789-2018) принимали расплав КГВ паст 120 ± 5 мм (нормальная густота) [93].

Сроки схватывания КГВ паст определяли согласно ГОСТ 23789-2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний» на приборе Вика.

Необходимое содержание минеральной добавки определяли с учетом содержания свободного гидроксида кальция в гипсоцементных композициях в соответствии с ТУ 21-31-62-89 «Гипсоцементно-пущолановое вяжущее» [94].

Термокинетические исследования компонентов КГВ (значения скорости выделения тепла (J/g) в каждый момент времени) определяли с помощью автоматизированного дифференциального калориметра ToniCAL Trio (рисунок 2.3).



Рисунок 2.3 – Общий вид прибора ToniCAL Trio

Минеральный состав КГВ и его компонентов (тонкодисперсного кварцевого песка, известняковой пыли, метакеолина) изучали с помощью метода РФА

(рентгенофазового анализа) на рентгено-флуоресцентном спектрометре ARL 9900 WorkStation с дифракционной системой (рисунок 2.4).



Рисунок 2.4 – Рентгено-флуоресцентный спектрометр серии ARL 9900 WorkStation

Элементный состав проб исследуемых образцов КГВ проводили при помощи рентгеновской флуоресценции (XRF), применяя трубки с Со-анодом. Расшифровку полученных результатов осуществляли с использованием программного комплекса UniQuant 5.56 [95].

Для *изучения продуктов гидратации* затвердевших КГВ в комплексе с РФА применяли дифференциальный-термический анализ (ДТА), осуществляемый с помощью синхронного термоанализатора «STA 449 F1 Jupiter NETZSCH», включающего в себя: термогравиметрию (ТГ) и дифференциальную сканирующую калориметрию (ДСК) (рисунок 2.5).



Рисунок 2.5 – Термоанализатор STA 449 F1 Jupiter NETZSCH

Исследование микроструктуры образцов затвердевшего КГВ с определением элементного состава проводили на сканирующем электронном микроскопе TESCAN Mira 3 (рисунок 2.6). Управление прибором, осуществляется от персонального компьютера. Для выполнения анализа микроструктуры проб исследуемых образцов пользовались пакетом программ для автоматической обработки РЭМ-изображений [96].



Рисунок 2.6 – Сканирующий электронный микроскоп TESCAN Mira 3

С помощью поляризационного микроскопа ПОЛАМ Р-312 изучали *структуру поверхности* заполнителей и минеральных добавок (рисунок 2.7).



Рисунок 2.7 – Поляризационный микроскоп ПОЛАМ Р-312

Пластическую прочность (жизнеспособность) штукатурного раствора на основе КГВ, характеризующую период его структурообразования, определяли с помощью конического пластометра типа КП-3 (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Конический пластометр типа КП-3

Исследуемый штукатурный раствор на КГВ помещали в сосуд на подъемный столик, вершина конуса приводилась в соприкосновение с поверхностью раствора. Конус нагружался гирями и с помощью индикатора определялась величина погружения конуса в раствор до полной его остановки. По окончании измерения производили подъем штанги с конусом в исходное положение до фиксации в стопорном устройстве. Для одного образца раствора выполняли 3 измерения.

Расчет пластической прочности P_k во времени производили по формуле:

$$P_k = K_a \cdot (m \cdot a) / h^2; \quad (2.1)$$

где P_k – пластическая прочность, Па;

$K_a = 0,110$, постоянный коэффициент, для конуса с углом $\alpha = 60^\circ$;

m – масса конуса, 0,375 кг;

$a = 9,8$ м/с²;

h – глубина погружения конуса.

Водоудерживающую способность модифицированного штукатурного раствора на КГВ определяли согласно ГОСТ 28013 [97]. Ее величина должна быть не менее 90 %. Для определения водоудерживающей способности штукатурного раствора использовали специальный прибор, состоящий из кольца, листов промокательной бумаги, марлевой прокладки и стеклянной пластинки (рисунок 2.9).

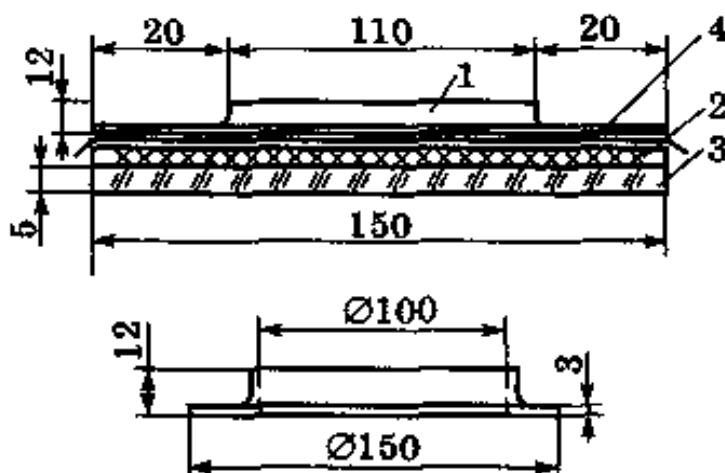


Рисунок 2.9 – Схема прибора для определения водоудерживающей способности штукатурного раствора: 1 — металлическое кольцо с раствором; 2 — 10 слоев промокательной бумаги; 3 — стеклянная пластинка; 4 — слой марлевой ткани.

В начале испытания производили взвешивание и укладывание на стеклянную пластинку 10-ти листов промокательной бумаги. Сверху укладывали прокладку из марли, затем кольцо металлическое и производили взвешивание. Затем перемешанный штукатурный раствор укладывали в кольцо, выравнивают его с краями, производили взвешивание и оставляли на 10 минут. По истечении времени кольцо с раствором снимали и с точностью до 0,1 г осуществляли взвешивание промокательной бумаги.

Оценку степени смачивания поверхности затвердевших штукатурных растворов на КГВ (угол, образованный на границе между поверхностью жидкости и твердого тела) определяли с помощью прибора KRUSS DSA 30 (KRUSS GmbH, Германия) с пакетом программного обеспечения и микроскопа-гониометра.

Исследование *реологических свойств* штукатурных растворов на основе КГВ с комплексом органических добавок при различных скоростях сдвига проводились на ротационном вискозиметре «RHEOTEST RN 4.1» (рисунок 2.10).



Рисунок 2.10 – Вискозиметр ротационный «RHEOTEST RN 4.1»

Водостойкость затвердевших КГВ и штукатурных растворов на их основе оценивалась величиной коэффициентов размягчения (вяжущих в возрасте 28 сут) и водостойкости (затвердевших растворов в возрасте 7 сут).

Предел прочности при сжатии затвердевших образцов КГВ и штукатурных растворов определяли согласно ГОСТ 10180–2012 «Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам» [98].

Испытание образцов на прочность осуществлялось с помощью лабораторного прессы нагрузкой 10 т.

Прочность адгезионного соединения затвердевшего штукатурного раствора на основе КГВ с бетонным образцом определяли с помощью механического прибора Posi TestAT-MManual.

В соответствующих главах диссертации описан ряд специальных методик оценки свойств КГВ и штукатурных растворов на их основе.

2.2 Применяемые материалы

Для получения модифицированного штукатурного раствора на основе водостойкого КГВ применяли следующие материалы:

вяжущие:

– гипсовые вяжущие марок ГВВС-16 α -модификации (Г-16) и Г-5 БII β -модификации (Г-5) ЗАО «Самарский гипсовый комбинат», удовлетворяющие требованиям ГОСТ 125-2018 [80];

– портландцемент ЦЕМ I 42,5Н, ОАО «Евроцемент», ГОСТ 30108-2016 [80];

тонкодисперсные минеральные добавки:

– тонкодисперсный кварцевый песок с удельной поверхностью 500 м²/кг;

– метакраолин ВМК-45 с удельной поверхностью 1490 м²/кг;

наполнитель:

– известняковая пыль с удельной поверхностью 480 м²/кг;

заполнители:

– некондиционный кварцевый песок песчаных дюн Хевронского месторождений западного побережья реки Иордан в Палестине с модулем крупности $M_{кр}=1,59$ и $M_{кр}=1,34$;

– песчаная фракция отсева дробления известняка с $M_{кр}=2,13$;

органические добавки:

– замедлитель схватывания PlastRetard PE (Италия);

– суперпластифицирующая и суперредуцирующая добавка MAPF SU 84 (Россия);

– суперпластификатор СП Melflux 5581 F (Германия);

– суперпластификатор Betonmix SP 200 S (Палестина);

– стабилизатор MAPF Forbo-Crete S 010 (Россия);

– вода ГОСТ 23732–2011.

Характеристики применяемых материалов приведены в таблицах 2.1 – 2.5.

Таблица 2.1– Химический состав цемента типа ЦЕМ I 42,5Н

Завод-производитель	Химический состав, масс. %					
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CaO _{св}
ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Евроцемент»	21,9	5,2	4,4	66,1	0,8	-

Таблица 2.2 – Минералогический состав цементного клинкера

Завод-производитель	Фактический минералогический состав клинкера, %			
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
ЦЕМ I 42,5Н ОАО «Евроцемент»	62,0	15,0	7,0	14,0

Таблица 2.3 – Физико-механические свойства ЦЕМ I 42,5Н

Удельная поверхность, м ² /кг	Нормальная плотность цементного теста, %	Сроки схватывания цементного теста нормальной густоты, мин		Активность цемента, МПа, в возрасте, сут	
		начало	конец	2	28
335	25,2	145	270	21	52
		Не ранее 120	Не позднее 360	Не менее 10	42,5-62,5

Таблица 2.4 - Свойства гипсовых вяжущих

Показатели	Единицы измерения	Вяжущее	
		Г- 5 БП	ГВВС- 16
Степень помола, максимальный остаток на сите с размером ячеек 0,2 мм	%	14	21
Нормальная плотность	—	0,48	0,38
Сроки схватывания:	мин., с		
начало		6-30	11-30
конец		10-30	13-00
Предел прочности при изгибе	МПа	2,5	6,3
Предел прочности при сжатии:	МПа		
- сухих образцов	МПа	12,2	29,8
- насыщенном водой образцов	МПа	5,3	7,7
Коэффициент размягчения	-	0,34	0,47

В качестве минеральных добавок использовали тонкодисперсный кварцевый песок песчаных дюн Палестины и высокоактивный метакраин ВМК-45, в качестве наполнителя – известняковую пыль (таблица 2.5).

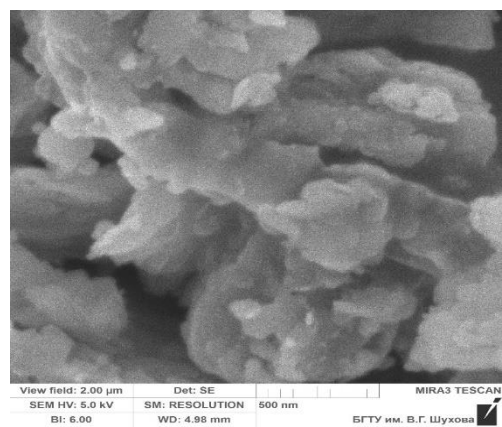
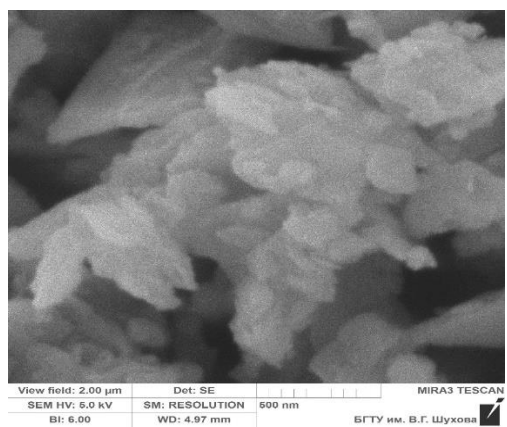
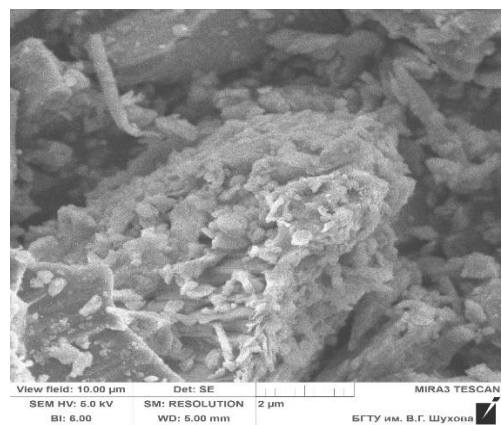
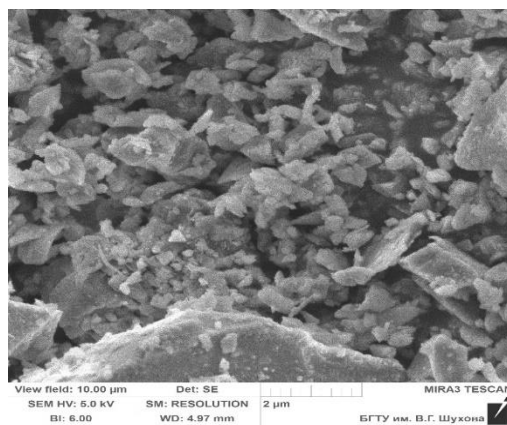
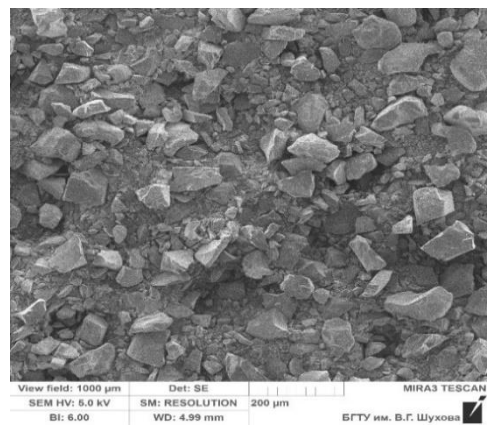
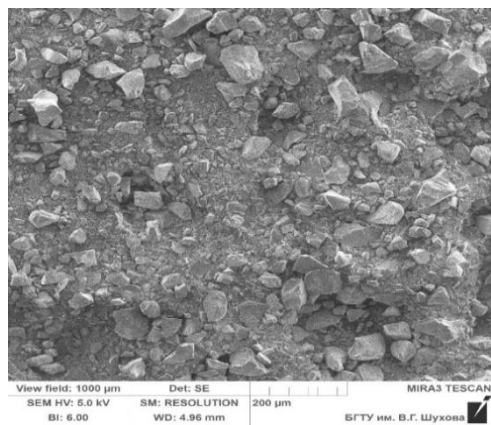
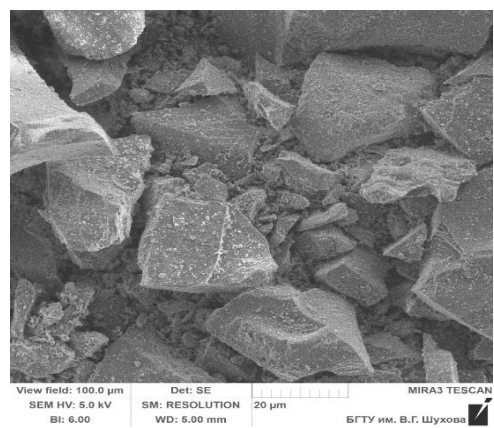
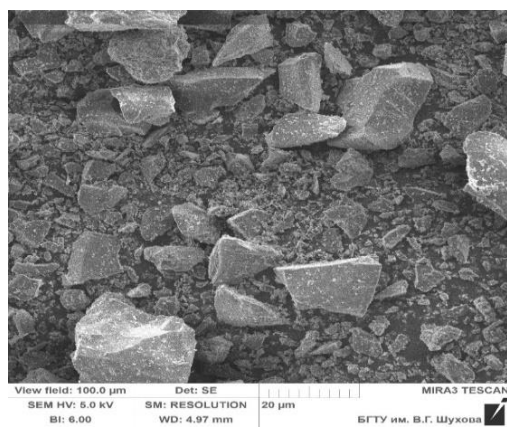
Таблица 2.5 – Химический состав минеральных добавок и наполнителя

Компонент	Оксиды (масс.%)								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃
кварцевый песок	91,0	4,54	0,29	0,09	2,6	0,27	0,45	0,65	0,003
метакраин	56,1	40,5	0,9	-	0,16	-	0,15	0,79	-
известняк	4,25	1,67	0,4	0,06	28,48	0,1	0,12	0,19	0,098

В качестве мелкого заполнителя в составе штукатурных растворов использовали некондиционные кварцевые пески песчаных дюн Палестины с низким модулем крупности $M_{кр} = 1,59$ и $M_{кр} = 1,34$ (рисунок 2.11, а) и песчаную фракцию отсева дробления известняка с $M_{кр} = 2,13$ (таблица 2.6; рисунок 2.11, б).

Таблица 2.6 – Результаты отсева мелких заполнителей

Остатки на ситах, мм	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	менее 0,16
1. Кварцевый песок $M_{кр}=1,59$						
Частные остатки, %	0	0,05	1,35	56,70	41,75	0,15
Полные остатки, %	0	0,05	1,36	58,06	99,81	100
2. Кварцевый песок $M_{кр}=1,34$						
Частные остатки, %	0,55	0,70	0,80	28,90	68,70	0,35
Полные остатки, %	0,55	1,25	2,05	30,95	99,65	100
3. Песчаная фракция отсева известняка $M_{кр}=2,13$						
Частные остатки, %	6,15	16,50	18,90	12,20	35,00	11,25
Полные остатки, %	6,15	22,65	41,55	53,75	88,75	100
4. Оптимизированный состав из смеси песков $M_{кр}=2,2$						
Частные остатки, %	0	29,30	20,50	14,70	10,20	0
Полные остатки, %	0	29,30	49,80	64,50	74,70	100



а

б

Рисунок 2.11 – Микроструктура и морфология песка песчаных дюн (а) и песчаной фракции отсева известняка (б)

2.3 Органические добавки, применяемые в работе

В качестве высокоэффективного модификатора схватывания КГВ применяли замедлитель *Plast Retard PE* (ГОСТ 24211-2008), который действует в широком диапазоне pH, максимально эффективен при нейтральных значениях pH, при больших щелочных значениях ($\text{pH} > 12$) его активность снижается [99]. Он хорошо размешивается до гомогенного состояния благодаря форме и мелкому размеру частиц, совместим с инертными веществами, пластификаторами различной природы

Техническая характеристика *Plast Retard PE*:

- внешний вид – порошок цвета слоновой кости;
- растворимость – полностью растворим в воде;
- насыпная плотность – около 240 г/дм³;
- активное вещество – >95%;
- влажность – <5%;
- pH 10% раствора – 7 - 8,5;
- термостабильность – свойства не изменяются до 300 °С.

Суперпластификатор СП Melflux 5581 F (ГОСТ 24211-2008) – сухой поликарбоксилатный гиперпластификатор третьего поколения, используемый как водоредуцирующая и противоусадочная добавка в смеси на основе цемента и гипса [98]. Его применение обеспечивает снижение водопотребности более 30% без отрицательного влияния на сроки схватывания, обеспечивает высокую раннюю прочность, дозировка – 0,05-1,5 % от массы вяжущего. Действие *Melflux 5581 F* основано на совокупности электростатического и стерического (пространственного) эффектов. Последний достигается с помощью боковых гидрофобных полиэфирных цепей молекулы поликарбоксилатного эфира.

Суперпластификатор Betonmix SP 200 S (Палестина) – это водоредуцирующая/суперпластифицирующая добавка на основе нафталин-сульфоната, без хлора, которая предотвращает быстрое испарение в жаркую погоду, улучшает начальную и конечную прочность бетона.

Суперпластифицирующая и суперредуцирующая добавка MAPF SU 84, производитель ООО «АДДИТИВ ПЛЮС», г. Подольск (ГОСТ 24211-2008), создана на основе поликарбоксилатных эфиров с добавлением дополнительных компонентов, повышающих устойчивость к слеживанию при повышенных температурах, а также улучшающих смачиваемость и повышающих скорость диспергирования [98]. Добавка способна повышать подвижность и снижать водопотребность дисперсных растворов и бетонов на основе гидравлических и воздушных вяжущих. Механизм действия: обладает анионногенной адсорбционной способностью. Электростатическое диспергирование, с пролонгацией за счет стерического эффекта от боковых цепей привитого сополимера.

Физико-химические свойства: агрегатное состояние и внешний вид – порошок от белого до светло-коричневого цвета; насыпная плотность – не менее 400 кг/м³; рН раствора – не менее 7; влажность – не более 8 %; относится к веществам малоопасным – 4 класс опасности по ГОСТ 32419-2022 [100].

Области применения: производство сухих строительных смесей на всех типах вяжущих, в том числе: портландцементном, гипсовом, гипсоцементно-пущолановом.

Добавка MAPF Forbo-Crete S 010 (ГОСТ 24211-2008) – стабилизатор на основе диатомита и полисахарида - водорастворимого биополимера (дьютановой камеди, полученной путем ферментации) [99].

Физические свойства: порошок от светло серого до коричневого цвета; размер частиц: остаток на сите 0,2 мм – не более 5 %; влажность – не более 8 %. Продукт с сильными тиксотропными свойствами для бетонов и строительных растворов, сухих строительных смесей, систем с щелочным, нейтральным и кислым рН. Может использоваться с цементными, гипсовыми и магниезальными вяжущими для предотвращения расслаивания и седиментации в высокоподвижных составах. Отличается отсутствием негативного влияния на процессы гидратации (начальных и конечных срок схватывания и кинетики набора прочности) и ультранизкой дозировкой (0,03-0,2 % от воды затворения).

2.4 Выводы по главе 2

1. При изучении свойств и структуры КГВ и штукатурных растворов на их основе применялись стандартные и современные методы физико-химического анализа: РФА и ДТА, метод лазерной гранулометрии, изотермической калориметрии, оптической и растровой электронной микроскопии, математического аппарата структурной топологии и др. Исследование реологических свойств модифицированных штукатурных растворов на КГВ проводили с помощью ротационного вискозиметра «RHEOTEST RN 4.1».

2. Для разработки штукатурных растворов на основе КГВ использовали смесь гипсовых вяжущих – 30% ГВВС-16+70%Г5Б II), портландцемент типа ЦЕМ I 42,5 Н ЗАО); в качестве минеральных компонентов – тонкомолотый кварцевый песок, высокоактивный метакаолин ВМК-45 и известняковую пыль.

3. Для модифицирования штукатурных растворов на КГВ использовали химические добавки ведущих фирм РФ и зарубежья (% от массы КГВ): замедлитель сроков схватывания Plast Retard PE (0,08%), суперпластификаторы марок Melflux 5581 F и Mapf SU 84 (0,2%), стабилизатор марки Mapf Forbo-Crete S 010 (0,1%).

ГЛАВА 3 НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПОЗИЦИОННЫХ ГИПСОВЫХ ВЯЖУЩИХ ДЛЯ ШТУКАТУРНЫХ РАСТВОРОВ

Последние годы, с развитием отрасли малоэтажного строительства, в Палестине расширяется спектр используемых отделочных строительных материалов, в том числе штукатурных растворов на гипсовых вяжущих, однако в строительной практике из-за низких показателей по водо-, морозо- и атмосферостойкости, для наружной отделки стеновых конструкций зданий и сооружений они не используются. Для этих целей эффективным является использование штукатурных растворов на основе композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) повышенной водостойкости, включающих тщательно подобранную смесь гипсового вяжущего, портландцемента, а также кремнеземсодержащих добавок оптимальной дисперсности, позволяющих, за счет создания нового типа микроструктуры, обеспечить требуемые свойства проектируемому раствору (прочность, показатель водостойкости, адгезионную прочность, долговечность и др.). К таким новым типам структуры относятся кластерные и решеточные структуры, которые образуются как в результате энергоемкого процесса перемешивания и помола компонентов КГВ, так и самопроизвольно протекающих явлений самоорганизации, происходящих в ходе сложных физико-химических процессов, результатом которых является образование новых малорастворимых гидратных новообразований.

3.1 Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего

При разработке устойчивых твердеющих структур гипсоцементного камня необходимо учитывать, что их разрушение происходит в результате образования этtringита — $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$, занимаемый объем которого в композиции значительно превышает суммарный объем исходных соединений.

Активные минеральные добавки способны снижать концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердеющей системе в определенный период времени с образованием трудно

растворимых нано- и микро- дисперсных новообразований. Активность минеральных добавок зависит от химического состава, наличия аморфного кремнезема, от величины их удельной поверхности и др. [68-74].

В диссертационной работе при разработке состава КГВ применяли два вида гипсовых вяжущих – 70% Г5Б II (β -модификацию) и 30% ГВВС-16 (α -модификацию); портландцемент ЦЕМ I 42,5 Н. В качестве минеральных добавок использовали тонкодисперсный кварцевый песок песчаных дюн и высокоактивный метакеолин ВМК-45. Для уплотнения твердеющей матрицы КГВ в качестве наполнителя использовали известняковую пыль.

Химический состав минеральных добавок и наполнителя представлен в главе 2, таблица 2.5.

В результате анализа ранее полученных данных [91]. было выявлено, что для обеспечения стабильности гипсоцементной композиции целесообразно использовать тонкодисперсный кварцевый песок с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и с соотношением «портландцемент : тонкодисперсный кварцевый песок – 1:2» с дополнительным введением в состав вяжущего высокоактивного метакеолина ВМК-45 в количестве 5% от массы портландцемента

Для получения из кварцевого песка тонкодисперсной минеральной добавки его предварительно сушили, а затем, согласно ГОСТ 310.2-76, мололи в лабораторной вибрационной мельнице до удельной поверхности $500...700 \text{ м}^2/\text{кг}$.

3.1.1 Определение активности кремнеземсодержащих компонентов КГВ по поглощению СаО

С целью подтверждения реакционной способности минеральной добавки из тонкодисперсного кварцевого песка песчаных дюн Палестины были проведены исследования по поглощению гидроксида кальция в твердеющей системе согласно ТУ 21-31-62-89 –Гипсоцементно-пуццолановое вяжущее [94].

Проведенными исследованиями было установлено, что для обеспечения стабильности гипсоцементно-кремнеземистой композиции на требуемом уровне в качестве минеральной добавки в составе КГВ возможно использование тонкодисперсного кварцевого песка дюн с удельной поверхностью 500 м²/кг при отношении «цемент : песок – 1:2» с добавлением 5% (от массы цемента) метакаолина ВМК-45 (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Кинетика поглощения гидроксида кальция

№ состава	Материалы, г				Концентрации СаО в р-ре, г/л, через:	
	Гипс	ПЦ	Тонкодисп. песок	ВМК-45	5 сут	7сут
Удельная поверхность тонкодисперсного кремнезема 500 м ² /кг						
1	4	2,5	2,5	-	1,12	1,05
2	4	2,5	2,5	0,125	1,07	0,98
3	4	2,5	2,5	0,25	1,02	0,91
4	4	2,5	5,0	-	1,10	1,00
5	4	2,5	5,0	0,125	1,03	0,85
6	4	2,5	5,0	0,25	0,91	0,83
Удельная поверхность тонкодисперсного кремнезема 700 м ² /кг						
7	4	2,5	2,5	-	1,12	1,03
8	4	2,5	2,5	0,125	1,03	0,96
9	4	2,5	2,5	0,25	0,98	0,89
10	4	2,5	5,0	-	1,07	0,98
11	4	2,5	5,0	0,125	1,00	0,83
12	4	2,5	5,0	0,25	0,86	0,80

С учетом полученных данных и рекомендаций [94] приготовление КГВ осуществляли последовательным смешиванием, совмещенным с кратковременным

домолом (до 3 мин) в лабораторной вибрационной мельнице компонентов КГВ (% по массе): предварительно диспергированный кварцевый песок (20 %), метакраолин ВМК-45 (5 % от массы ПЦ) и известняковую пыль (1,5 %) совместно с портландцементом (10 %), а затем – с гипсовым вяжущим (70 %), включающим две модификации (Г5Б-II – 70 % и ГВВС-16 – 30 %).

3.1.2 Определение гранулометрического состава КГВ путем расчетно-экспериментального моделирования

Наряду с химическим составом, регулирование свойств КГВ с достижением наибольшей плотности упаковки частиц обеспечивается подбором оптимального гранулометрического состава его компонентов и их равномерным распределением по размерам [101-116]. При изучении с помощью прибора Microsizer 201 зернового состава компонентов КГВ было выявлено следующее.

У гипсового вяжущего график распределения частиц по размерам одномодальный, плавный с пиком в области частиц 16-20 мкм. (рисунок 3.1).

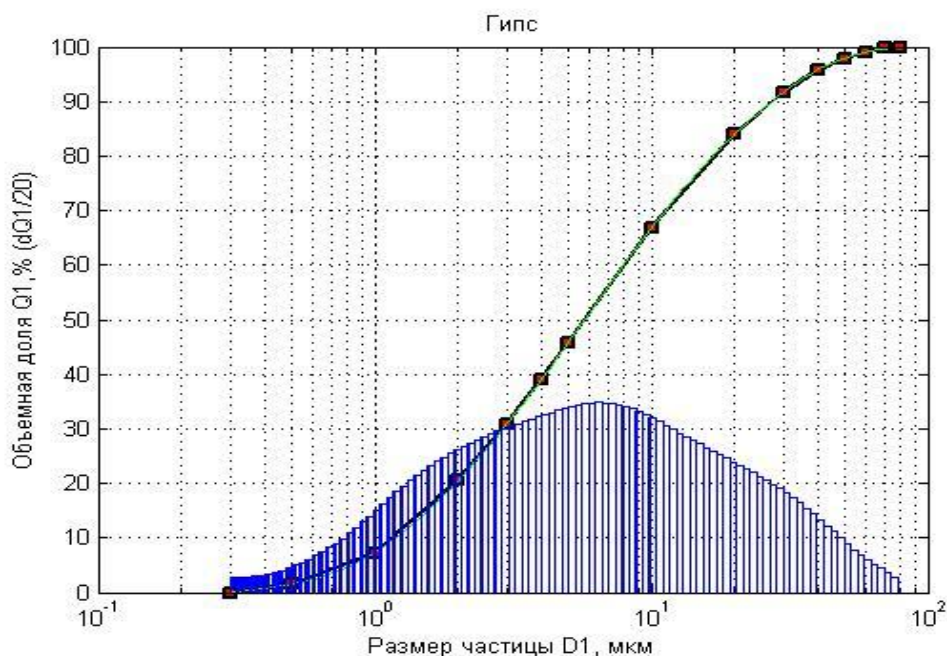


Рисунок 3.1 – Гранулометрический состав гипсового вяжущего

Основной диапазон частиц находится в интервале от 1 до 100 мкм с максимумом (90%) в области 30,00 мкм; 50% частиц составляет фракция размером 7,00 мкм и 10% – фракция частиц размером 0,3 мкм.

У *портландцемента* кривая имеет прерывистый характер с двумя небольшими пиками в области частиц 19,45 мкм и 51,37 мкм.

Основной диапазон находится в интервале от 0,1 до 154 мкм, с максимумом (90%) в области 66,94 мкм, 50% составляет фракция частиц 19,59 мкм и 10 % – 2,27 мкм (рисунок 3.2).

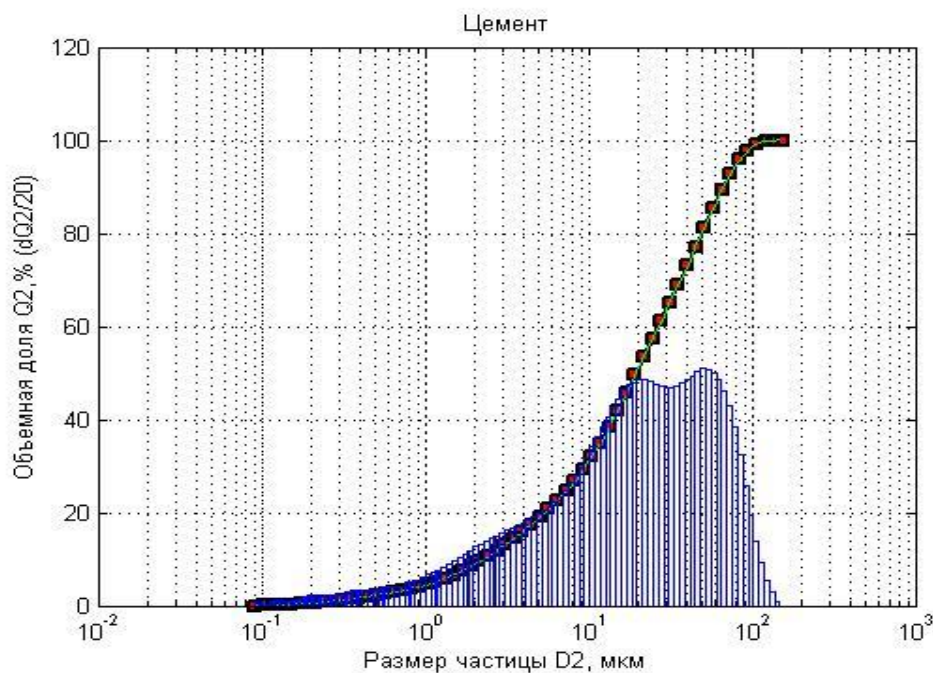


Рисунок 3.2 – Гранулометрический состав портландцемента

В тонкодисперсном *кварцевом песке* песчаных дюн (с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$) присутствуют частицы преимущественно кубовидной угловатой формы с развитой шероховатой поверхностью, кривая распределения частиц по размерам одномодальная, плавная, основной диапазон находится в интервале от 1 до 150 мкм с максимумом (90%) в области 22,9 мкм; 50% составляет фракция частиц размером 7,14 мкм и 10% – фракция частиц размером 1,12 мкм (рисунок 3.3).

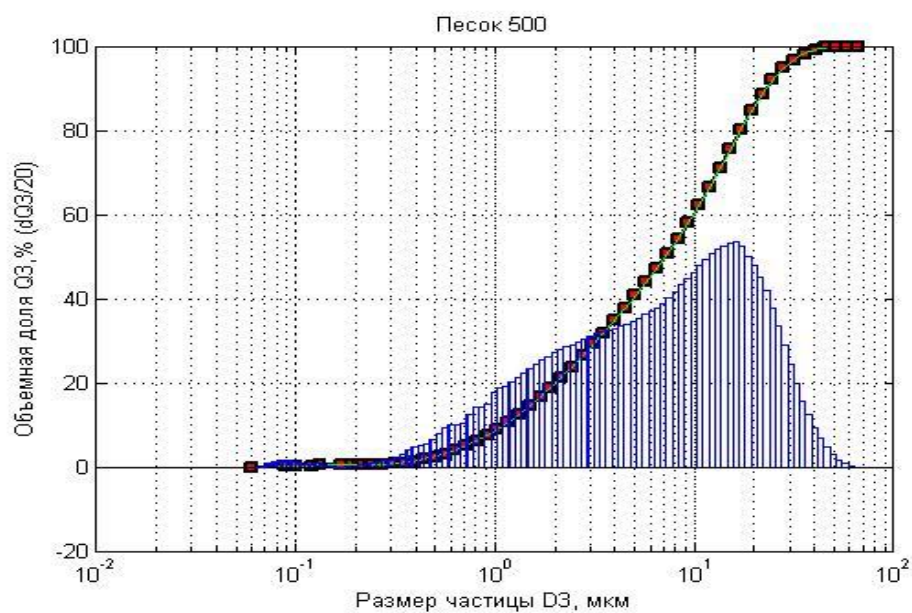


Рисунок 3.3 – Гранулометрический состав тонкодисперсного песка

Тонкодисперсный отсев дробления известняка (известняковая пыль) имеет прерывистую гранулометрию частиц с наличием 3-х четких пиков на интегральной кривой в области частиц 2,43 мкм, 15,16 мкм и 83,71 мкм, основной диапазон находится в интервале от 0,1 до 154 мкм, 90% составляют фракции частиц размером 77,32 мкм, 50% – 18,27 мкм и 10% – 1,62 мкм.

Форма частиц угловатая, поверхность шероховатая (рисунок 3.4).

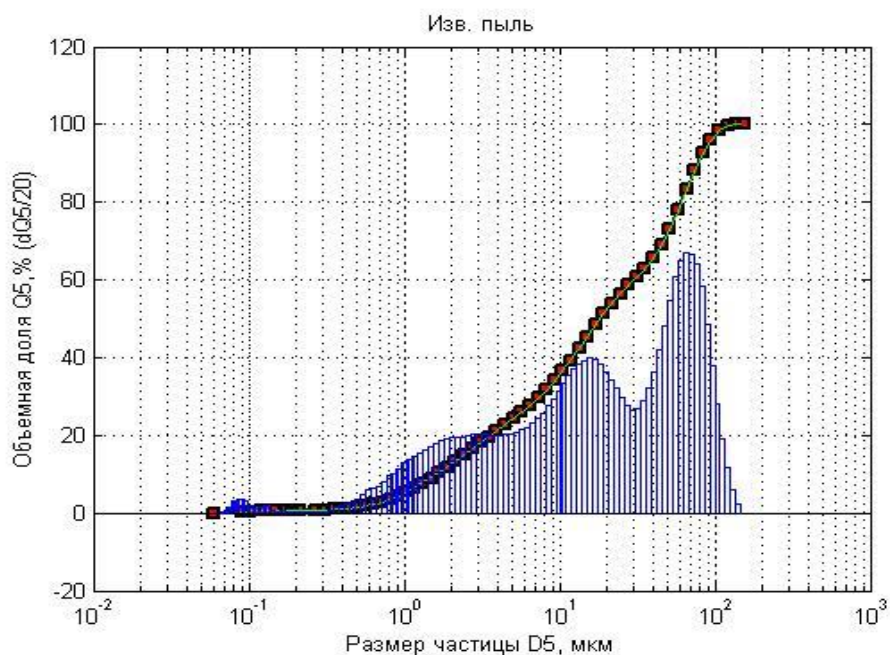


Рисунок 3.4 – Гранулометрический состав известняковой пыли

У метакеолина ВМК-45 кривая распределения частиц по размерам имеет прерывистый характер с двумя пиками в области частиц 2,75 мкм и 17,12 мкм и содержит значительное количество мелких частиц размером от 1 до 5 мкм, имеющих пластинчатую форму и слоистую шероховатую поверхность

Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,09 до 136,4 мкм с максимумом (90%) в области 44,02 мкм; 50% оставляют частицы размером 12.43 мкм и 10% – размером 1,63 мкм (рисунок 3.5).

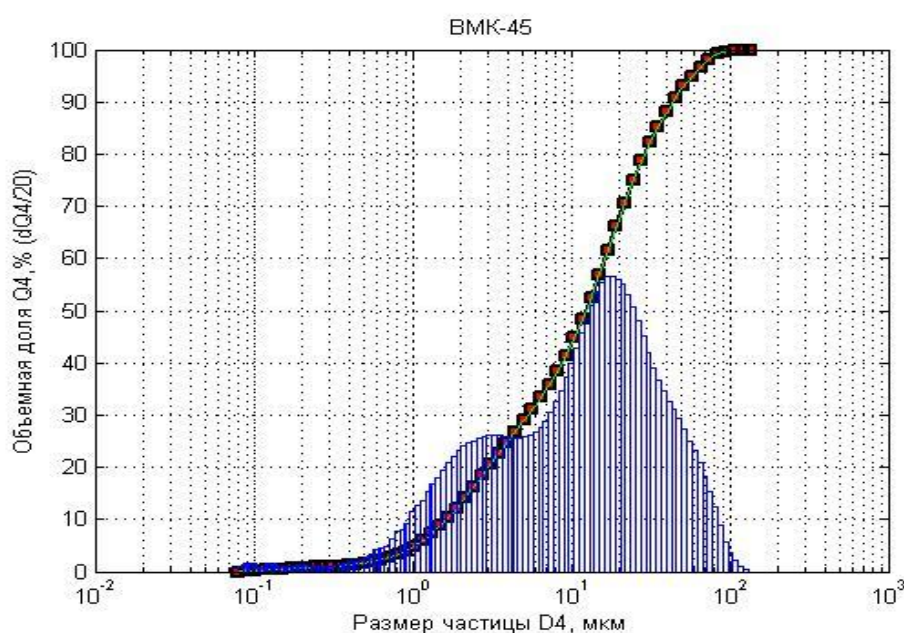


Рисунок 3.5 – Гранулометрический состав метакеолина ВМК-45

В связи с тем, что при проектировании состава вяжущего одной из главных задач является оптимизация его структуры на микроуровне с нахождением наилучших соотношений размеров и количественного содержания частиц в твердеющей системе для создания плотной упаковки, в работе было проведено сравнение гранулометрических составов 3-х, 4-х и 5-и компонентных КГВ путем расчетно-экспериментального моделирования по известным уравнениям «идеальных» кривых.

В мировой и отечественной практике [109,110] для описания гранулометрического состава плотных полидисперсных упаковок частиц предлагаются различные методы расчета и формулы «оптимальных» кривых:

Абрамса, Боломея, Гуммеля, Даля, Фуллера, Функа –Дингера, Белова В.В., Хархардина А.Н. и др. Эти зависимости имеют вид:

$$A = f(D) \quad (3.1)$$

где A – проходы зерен, %; D – размеры зерен, мм.

В работе расчет оптимального гранулометрического состава КГВ с плотной упаковкой тонкодисперсных частиц определяли с помощью уравнения «оптимальной» кривой Функа–Дингера, которое, по мнению авторов, наиболее точно описывает реальную тонкодисперсную систему с учетом наличия мелких фракций и различной формы зерен.

С учетом коэффициента формы частиц, уравнение имеет вид:

$$A_i = 100 \left[(\alpha + (1-\alpha) \frac{d_i^n - d_{\min}^n}{d_{\max}^n - d_{\min}^n}) \right] \quad (3.2)$$

где $\alpha = 1 - K\phi$

A_i – проход частиц, %, через условное сито размером d_i , мм;

$d_{\max}$ – наибольший размер зерна в смеси, мм;

$d_{\min}$ – наименьший размер зерна в смеси, мм;

n – коэффициент распределения, равный по Функу-Дингеру – 0,5.

Коэффициент α для частиц реальных сыпучих систем по данным многих исследователей может изменяться в пределах от 0,08 до 0,14.

В наших расчетах принят коэффициент $\alpha = 0,1$.

Как известно [105-116], для реальных сыпучих вяжущих систем характерно полидисперсное распределение частиц по размерам и получение «оптимальной» гранулометрической кривой возможно при использовании специально подготовленных «узких» фракций. С помощью расчетно-экспериментального моделирования [116] были рассчитаны гранулометрические составы рассматриваемых смесей 3-х, 4-х и 5-и компонентных КГВ и построены «оптимальные» кривые по Функу–Дингеру, в сравнении с показателями плотности упаковки тонкодисперсных компонентов в отдельности (рисунок 3.6).

Были приготовлены тонкодисперсные смеси вяжущих следующих составов:

а – 3-х компонентное вяжущее (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок);

б – 4-х компонентное вяжущее (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок + метаксаолин).

в – 5-и компонентное вяжущее (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок + известняковая пыль + метаксаолин).

Было установлено, что гранулометрический состав вяжущих (рисунок 3.6, 1, *а-в*) полидисперсный, прерывистый, с наличием нескольких пиков в области крупных и средних частиц, что обусловлено особенностями зерновых составов используемых компонентов .

У 3-х компонентного КГВ (рисунок 3.6, 1, *а*) кривая гранулометрического состава имеет два четких пика в области частиц размером 10,51 мкм и 106,9 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,07 до 251 мкм с максимумом (90%) в области 83,57 мкм; 50% частиц составляет фракция частиц размером 14,59 мкм и 10% – фракция частиц размером 1,48 мкм.

Кривая гранулометрического состава 4-х компонентного КГВ (рисунок 3.6, 1, *б*) имеет три четких пика в области частиц размером 10,51 мкм и 106,9 мкм и 362,1 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,07 до 251 мкм с максимумом (90%) в области 95,4 мкм; 50% частиц составляет фракция частиц размером 15,86 мкм и 10% – фракция частиц размером 1,57 мкм.

Особенностью гранулометрии рекомендуемого 5-ти компонентного КГВ (рисунок 3.6, 1, *в*) является наличие двух четко выраженных пиков на кривой распределения в области крупных и средних размеров частиц: первый пик соответствует максимальному содержанию частиц размером 106 мкм, второй – 11 мкм. Основной диапазон частиц находится в интервале от 0,07 до 409 мкм. Из всех частиц 90% составляет фракция размером 169 мкм, 50% – 29,28 мкм и 10% – 1,73 мкм.

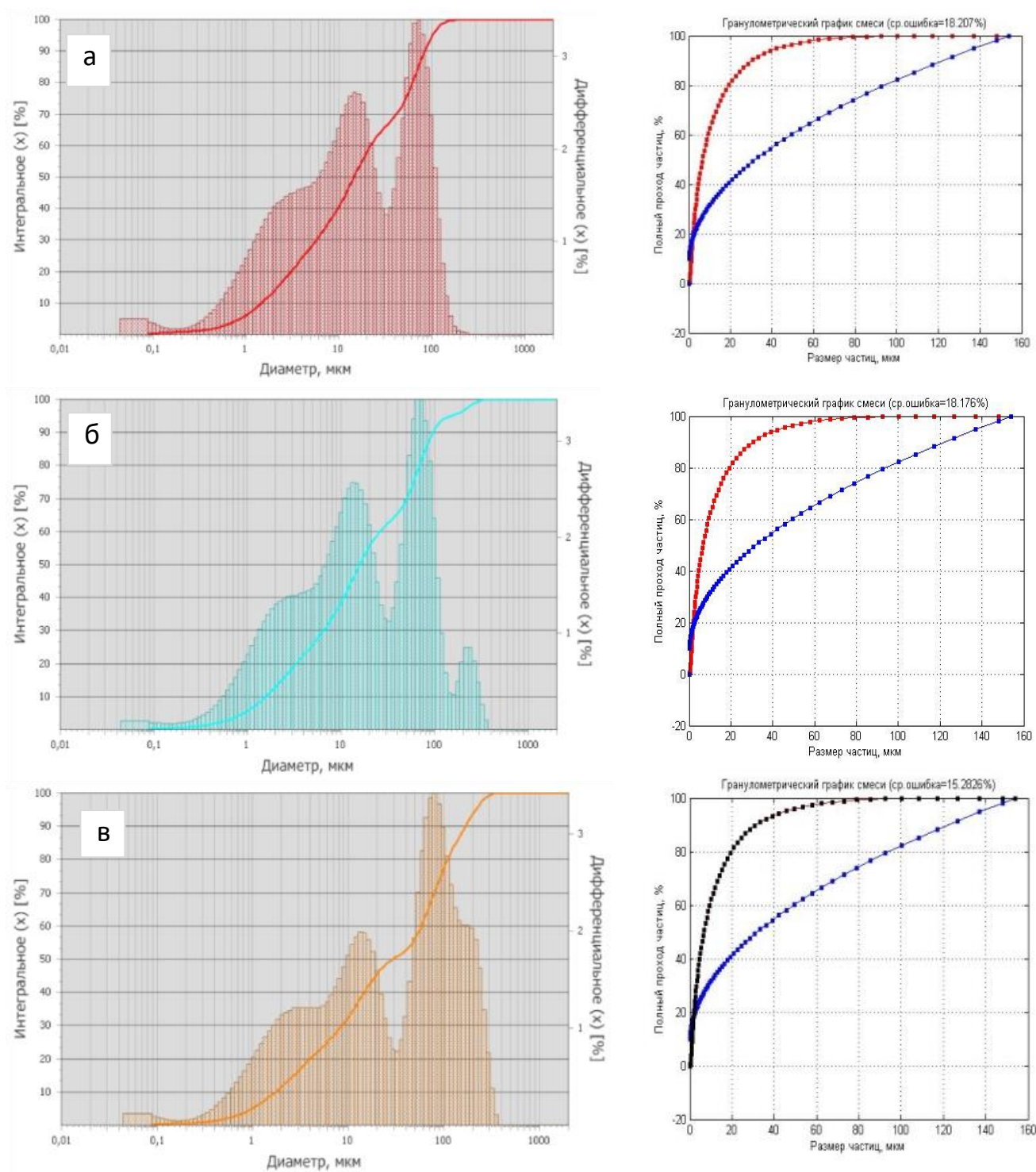


Рисунок 3.6 – Гранулометрический состав КГВ:

а – 3-х компонентное КГВ (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок);

б – 4-х компонентное КГВ (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок + метакраолин ВМК-45);

в – 5-и компонентное КГВ (гипсовое вяжущее + портландцемент + тонкодисперсный кварцевый песок + известн. пыль + метакраолин ВМК-45).

Критерием оптимизации при расчете являлось приближение рассчитываемых составов к «оптимальному», характеризуемому наиболее плотной упаковкой частиц.

Как видно из представленных графиков (рисунок 3.6, 2, *а-в*), отклонение от «оптимальной» кривой Функа–Дингера для 3-х, 4-х и 5-ти компонентных КГВ составило: 18,2%, 18,1% и 15,3%, соответственно.

С целью подтверждения эффективности использования предложенных минеральных компонентов были определены физико-механические показатели разработанных вяжущих. Были изготовлены образцы-кубы размером 3х3х3 см, которые испытывали в возрасте 2 час, 7 суток и 28 суток. Состав и физико-механические свойства КГВ представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Состав и свойства КГВ

Состав КГВ, % по массе					В/Вяж	Сроки схватыв., мин., с		Рсж, МПа			Кр
Г	ПЩ	П	ВМК	Изв		Начало	Конец	2 час	7 сут	28 сут/	
70	10	20	-	-	0,42	9-00	10-00	6,6	7,6	8,9	0,62
69,5	10	20	0,5	-		8-00	9-00	7,2	8,5	11,8	0,71
68,0	10	20	0,5	1,5		8-30	9-30	6,9	8,7	12,3	0,73

Примечание: Г – смесь двух модификаций гипсовых вяжущих (Г5Б- II 70% и ГВВС-16-30%);

П – тонкодисперсный песок (кремнезем);

удельная поверхность тонкодисперсного кремнезема – 500 м²/кг,

расплыв смеси – 120 ± 5 мм

Установлено, что при дополнительном введении метакаолина ВМК-45 в состав КГВ с минеральной добавкой тонкомолотого кварцевого песка (таблица 3.2, состав 2) предел прочности при сжатии через 7 сут повышается на 14,5 %, через 28 сут – на 38,2 %, коэффициент размягчения на 17,7 % (с 0,62 до 0,73), средняя плотность – с 1706 кг/м³ до 1715 кг/м³.

Дополнительное введение наполнителя (известняковой пыли) в КГВ (таблица 3,2, состав 3) практически не изменяет предел прочности при сжатии

через 2 час (повышает только на 4,5 % по сравнению с 1 составом), с увеличением данного показателя в 7-ми суточном возрасте на 14,5 % (с 7,6 МПа до 8,7 МПа) и в 28-ми суточном возрасте на 38,2 % (с 8,9 МПа до 12,3 МПа) и коэффициента размягчения (K_p) на 30 % (с 0,62 до 0,75) даже при снижении содержания гипсового вяжущего.

На основании полученных экспериментальных данных было установлено, что разработанный 5-ти компонентный состав КГВ, включающий (% по массе): 68 % гипсового вяжущего (Г5Б-II – 70 % и ГВВС- 16 – 30 %), 10 % портландцемента, 20 % тонкодисперсного кварцевого песка, 0,5 % метакеолина ВМК-45 и 1,5 % известняковой пыли, по соотношению компонентов и их гранулометрическому составу отклоняется от рассчитанного с помощью компьютерной программы по уравнениям «оптимальной» кривой Функа–Дингера на 15,3%, что обуславливает достаточно плотную упаковку его частиц с повышением средней плотности, прочностных показателей и коэффициента размягчения даже при снижении содержания гипсового вяжущего.

3.1.3 Термокинетические исследования компонентов КГВ

Для эффективного управления процессом гидратации на ранней стадии были рассмотрены результаты термокинетических исследований компонентов КГВ (таблица 3.3, рисунок 3.7).

Известно, что изменения в характере протекания гидратации вяжущих связаны с проявлением термокинетического эффекта, который базируется на взаимодействии двух физических параметров – температуры и времени [117 – 121].

Было выявлено, что у исследуемых минеральных добавок и вяжущих по разному проявляется реакционная способность, обусловленная адсорбционными процессами, кристаллизацией гипса и химическими реакциями.

Установлены различия в максимальной скорости тепловыделения исследуемых добавок (по убыванию): известняковая пыль (17,18 Дж/г·ч) – метаксаолин ВМК-45 (7,04 Дж/г·ч) – тонкодисперсный кварц (0,15 Дж/г·ч).

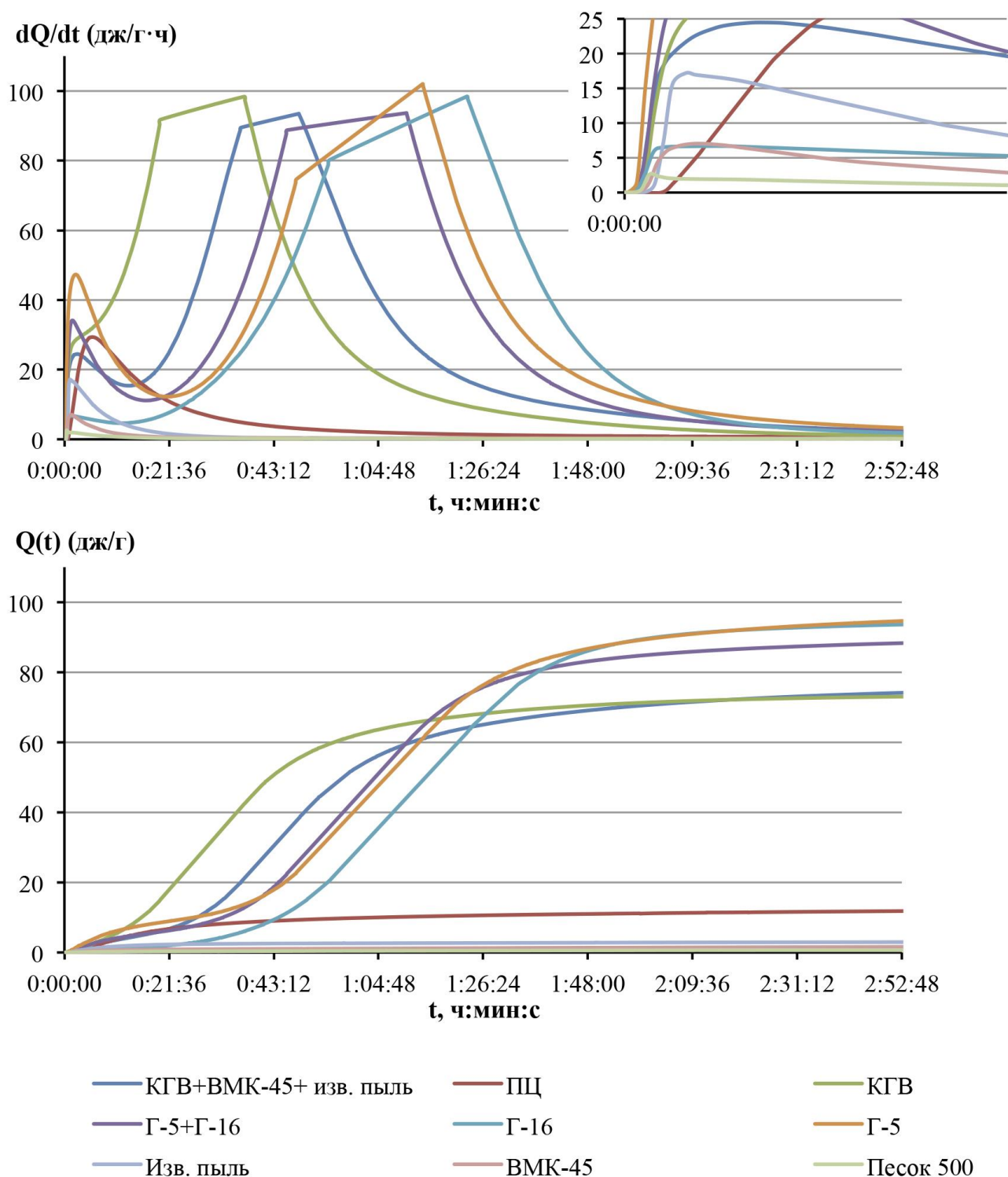


Рисунок 3.7 – Кинетика тепловыделения при гидратации КГВ с комплексом минеральных добавок: а) скорость тепловыделения; б) теплота гидратации

Таблица 3.3 – Значения термокинетических показателей компонентов КГВ

Компоненты КГВ	Начало реакции, с	Экзоэффект			Тепловыделение макс. за 72 ч, Дж/г
		Момент достижения	Величина максимума Дж/г·ч	Тепловыделение, Дж/г	
Песок 500	18	1 мин 12 с	0,15	0,63	0,91
Метакаолин	17	1 мин 00 с	7,04	0,09	1,99
Изв. пыль	23	1 мин 09 с	17,18	0,11	3,15
Г5БП+ГВВС-16	23	1 мин 33 с	34,08	0,51	90,74
		1ч 10мин 36 с	93,67	59,88	
ЦЕМ I 42,5 Н	45	5 мин 38 с	29,39	1,54	253.5
		16 час 51 мин	7,96	73,99	
КГВ	33	37 мин 05 с	94,17	42,38	82,79
КГВ+ВМК45+ изв. пыль	26	02 мин 31 с	24,48	0,76	83,23
		48 мин 23 с	99,48	38,34	

Сопоставление полученных кривых тепловыделения с кривыми скорости гидратации КГВ показало их практически полное соответствие.

У разработанного 5-ти компонентного КГВ, включающего тонкодисперсный кварц, метакаолин ВМК-45 и известняковую пыль, после затворения водой значение скорости экзоэффекта выше (99,48 Дж/г·ч), чем у КГВ с минеральной добавкой тонкодисперсного кварца.

3.2 Особенности структурообразования КГВ с органическими добавками

С целью подтверждения стабильности сформировавшихся структур, образующихся при затвердевании КГВ, методами ДТА, РФА и растровой электронной микроскопии были проведены исследования фазовых превращений(рисунок 3.8)., происходящих при затвердевании КГВ [89].

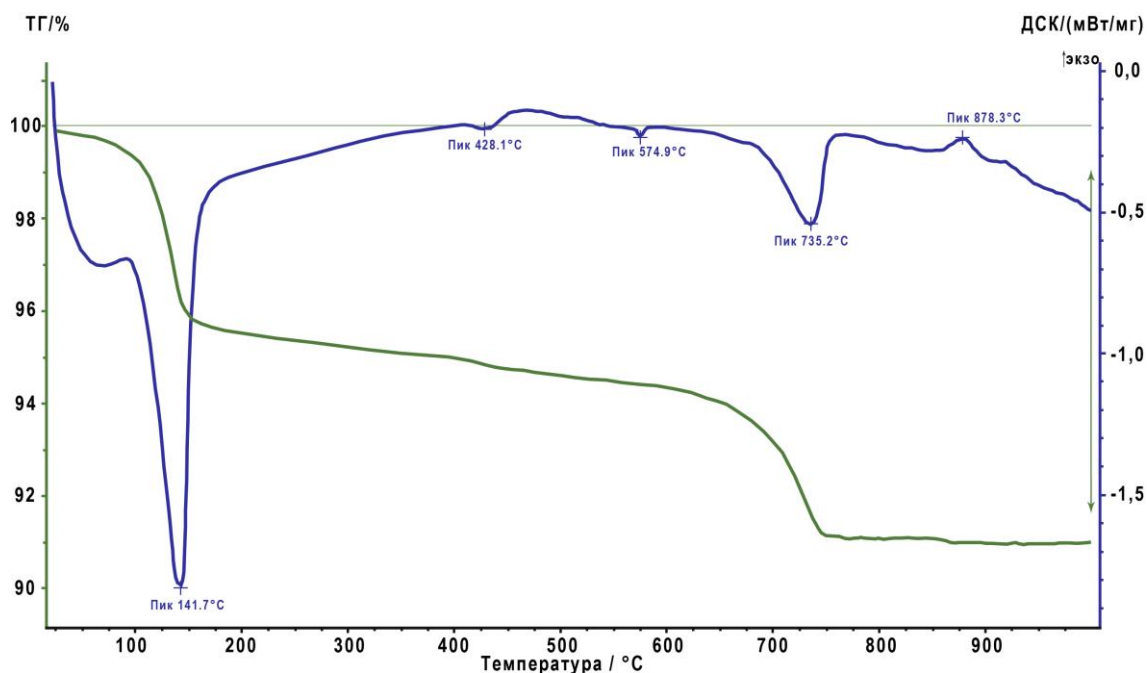


Рисунок 3.8 – ДТА (а) затвердевшего КГВ с комплексом минеральных добавок (28 сут.)

На дериватограмме (рисунок 3.8) гидратированного КГВ ДТА кривая содержит четыре эндотермических эффекта (при температуре 141 °С, 428 °С, 574 °С и 735°С) и один экзотермический эффект в области температуры 878°С.

Первый самый глубокий эндотермический эффект с пиком при температуре 141 °С, связан с удалением связанной воды при дегидратации двуводного гипса до полуводного. Второй слабый эндоэффект с максимумом при температуре 428 °С может относиться к двуводному гипсу. Эндоэффект при температуре 575 °С характеризует полиморфные превращения кварца (SiO_2), а при температуре 735 °С связан, видимо, с разложением CaCO_3 .

Экзоэффект в области 878 °С связан, видимо, с разложением CSH(B) , также возможно взаимодействие CaO с активными минеральными добавками.

При помощи РФА (рисунок 3.9) было установлено, что в качестве продуктов гидратации в пробе исследуемого образца КГВ (состав №3, таблица 3,2) основным цементирующим веществом является двуводный сульфат кальция ($d=7,66; 4,30; 3,04; 2,88... \text{Å}$).

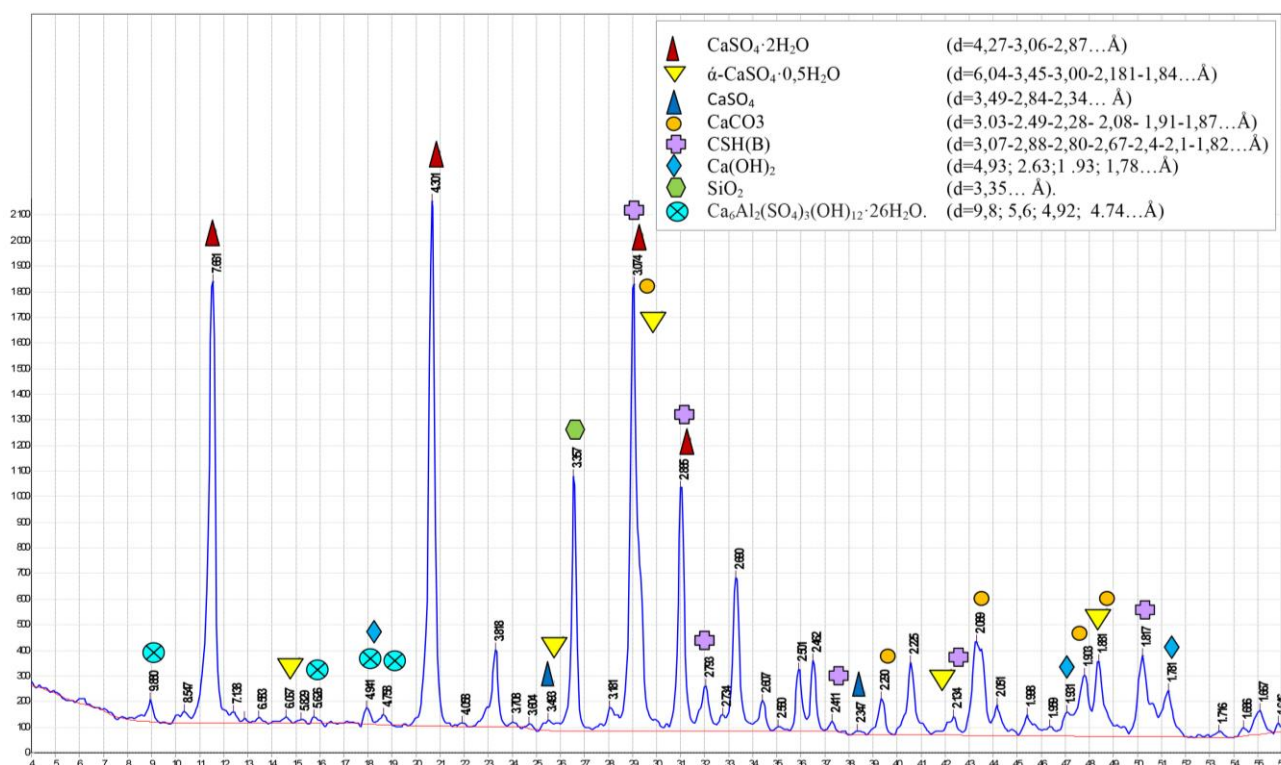


Рисунок 3.9 – РФА затвердевшего КГВ с комплексом минеральных добавок (28 сут.)

Рентгенограмма содержит также линии CaCO_3 ($d=3,04; 2,28; 2,08; 1,91\ldots\text{\AA}$), кварца ($d=3,35\ldots\text{\AA}$).

Рефлексы частично закристаллизованного гидросиликата кальция типа CSH(B) ($d=3,07; 2,88; 2,80; 2,4; 2,1; 1,81\ldots\text{\AA}$) перекрывают сильные линии отражения дигидрата сульфата кальция. Наличие достаточно широких дифракционных максимумов ($d=2,8-3,1\text{ \AA}$) указывает, вероятно, на наличие новообразованной рентгеноаморфной фазы низкоосновных гидросиликатов кальция.

На рентгенограмме обнаружены линии Ca(OH)_2 ($d=4,93; 1,93; 1,78\ldots\text{\AA}$) очень слабой интенсивности, а линии эттрингита ($d=9,8; 5,6; 4,91; 4,73\ldots\text{\AA}$) практически отсутствуют.

Анализ снимков микроструктуры (рисунок 3.10) затвердевшего КГВ, проведенный при помощи РЭМ показал, что комплекс минеральных добавок в составе вяжущего обеспечивает формирование гипсоцементного камня с достаточно плотной упаковкой кристаллов.

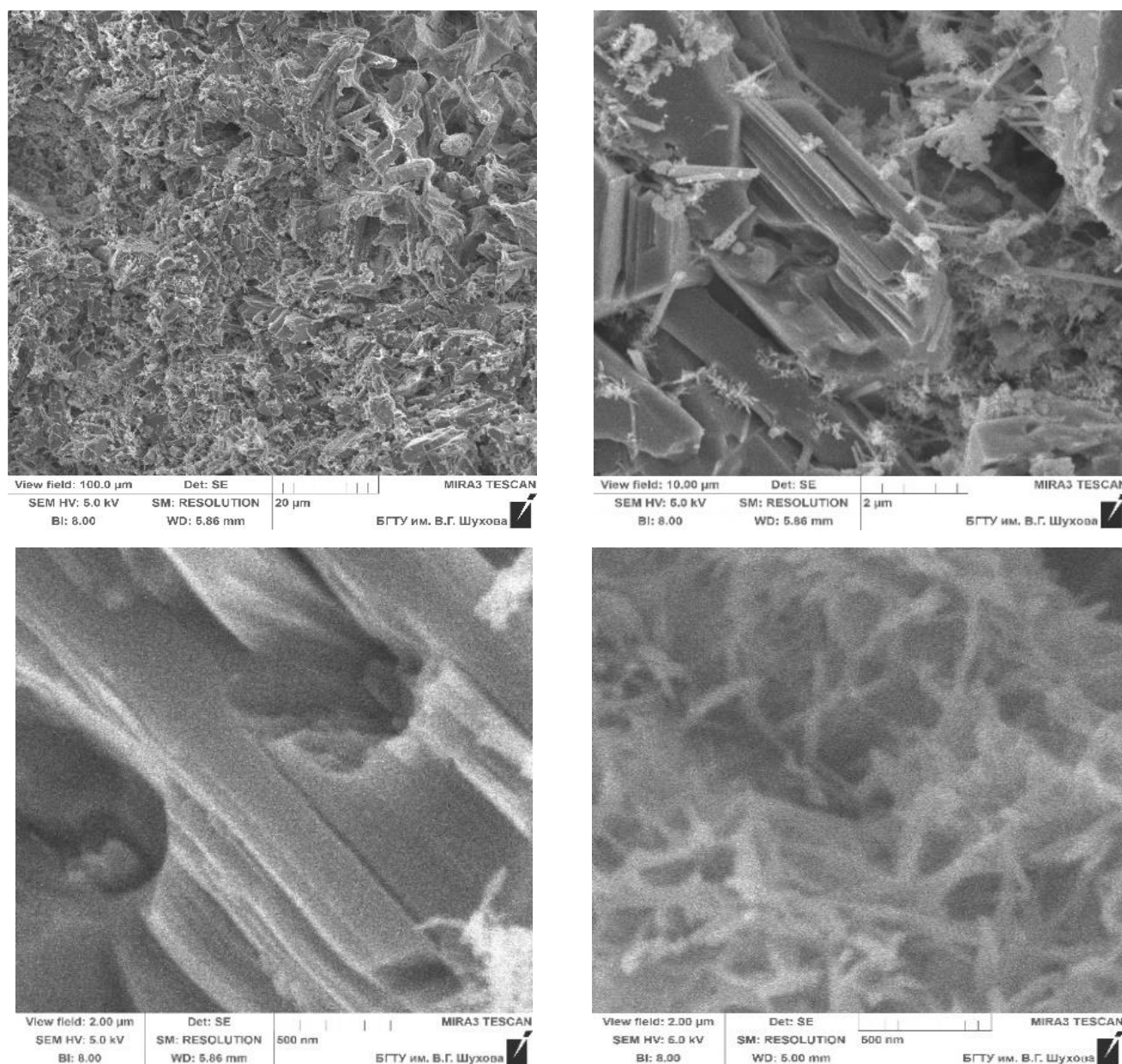


Рисунок 3.10 – Микроструктура затвердевшего КГВ 28-ми суточного возраста

На микрофотографиях видны новообразования, которые выкристаллизовываются в виде призматических кристаллов дигидрата, отдельных кристаллов разной морфологии и размеров, а также микро- и нано- размерных новообразований.

Уплотнение межкристаллических полостей и пор твердеющей гипсоцементной матрицы водостойкими новообразованиями защищает контакты срастания гипсовых кристаллов от растворения и обеспечивает повышение

прочности, водостойкости, а также скорости набора прочности гипсоцементного камня.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают реакционную активность используемых тонкодисперсных минеральных добавок и согласуются с показателями физико-механических характеристик КГВ на их основе. Их введение в состав КГВ способствует: интенсификации процесса гидратации клинкерных минералов и связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации C_3S с аморфной фазой SiO_2 в составе минеральных добавок; снижению основности твердеющей системы с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция – $\text{CSH}(\text{B})$ ($d=3,07; 2,88; 2,4; 2,1; 1,81 \dots \text{\AA}$), имеющих отрицательный заряд поверхности и, предположительно, осаждающихся на положительно заряженных активных центрах частиц известняковой пыли, выступающих в качестве центров кристаллизации; оптимизации микроструктуры твердеющей гипсоцементной матрицы.

При разработке устойчивых структур твердеющих КГВ важно учитывать, что занимаемый объем образующегося в процессе гидратации этtringита ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$) значительно превышает суммарный объем исходных соединений, в результате чего может происходить их разрушение.

С целью устранения деструктивных процессов в состав КГВ вводят активные минеральные добавки, способные снижать концентрацию $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в твердеющей гипсоцементной системе с образованием малорастворимых микро- и нанодисперсных новообразований. Их активность зависит от химического состава, наличия аморфного SiO_2 , от величины удельной поверхности и др. [47, 122].

Одной из задач исследования явилось изучение влияния комплекса минеральных и химических добавок на физико-механические свойства и стабильность КГВ. В соответствии с требованиями ТУ 21-31-62-89 – Гипсоцементно-пущофановое вяжущее была установлена эффективность использования минеральных добавок в составе КГВ, включающем (% по массе) гипсовое вяжущее – 68 % (70% – Г5БП и 30 % – ГВВС-16), портландцемент – 10

%, тонкодисперсные минеральные добавки (кварцевый песок – 20 %, метакраолин ВМК-45 – 0,5 %) и наполнитель (известняковую пыль – 1,5 %).

Эффективность суперпластификаторов, а также замедлителя сроков схватывания PlastRetard PE устанавливали по показателям физико-механических характеристик затвердевших вяжущих, которые моделируют условия их контакта с твердеющей матрицей и процессы между ними.

Химические добавки вводились в гипсоцементную смесь совместно с водой затворения. Были изготовлены образцы-кубы размером 3х3х3 см, которые испытывали через 2 час, 7 суток и 28 суток после изготовления.

В результате проведенных испытаний (таблица 3.4) было установлено, что совместное использование тонкодисперсных минеральных добавок и наполнителя позволило получить КГВ с пределом прочности при сжатии 12,3 МПа.

Таблица 3.4 – Влияние химических добавок на свойства КГВ (расплыв 120 ± 5 мм)

№ п/п	Вид добавки	Добавка, масс. %	В/Вяз	Сроки схват., мин-с		Рсж, МПа, через		
				начало	конец	2 ч	7 сут	28 сут
1	Без добавки	—	0,41	8-30	9-30	6,9	8,7	12,3
суперпластификаторы								
2	MAPF SU 84	0,1	0,36	8-00	9-00	8,3	15,0	19,2
3		0,2	0,30	8-00	9-00	9,2	19,2	23,0
4		0,3	0,23	7-00	8-00	12,0	26,4	29,1
5	MELFLUX 5581 F	0,1	0,37	8-30	9-30	8,5	18,3	23,0
6		0,2	0,29	8-00	9-00	10,0	24,2	26,0
7		0,3	0,22	7-30	8-30	12,9	28,1	31,0
8	Betonmix SP200 S	0,1	0.40	12-00	14-00	7,1	9,2	12,8
9		0,2	0.39	15-00	17-00	7,3	9,5	13,3
10		0,3	0.37	19-00	23-00	7,8	10,4	14,9
замедлитель сроков схватывания								
11	Plast Retard PE	0,02	0,41	15-00	17-00	5,5	12,7	14,4
12		0,06	0,41	30-00	33-00	4,9	11,2	13,2
13		0,08	0,41	45-00	48-00	4,4	10,1	12,6
комплексные химические добавки								
14	MAPF SU 84 (0,1%)+ Plast Retard PE (0,08%)		0,39	46-00	48-00	7,2	14,6	18,3
15	MELFLUX 5581 F (0,1%)+Plast Retard PE (0,08%)		0,38	45-00	47-00	8,1	15,7,	20,4

Эффективность использования суперпластификатора MAPF SU 84 (0,1–0,3 %) заключается в уменьшении В/Вяз отношения с 0,41 до 0,36...0,23 (с 13 до 44 %), соответственно, практически без изменения сроков схватывания, с повышением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ через:

- 2 часа с 6,9 МПа до 8,3...12,0 МПа (в 1,2...1,7 раза);
- 7 суток с 8,7 МПа до 15,0...26,4 МПа (в 1,7 ...3 раза);
- 28 суток с 12,3 МПа до 19,0...29,1 МПа (в 1,5...2,3 раза).

При использовании суперпластификатора MELFLUX 5581 (0,1-0,3%) аналогично происходит снижение В/Вяз отношения с 0,41 до 0,36...0,23 (на 13 до 44 %), соответственно, с незначительным сокращением сроков схватывания и повышением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ через:

- 2 часа с 6,9 МПа до 8,5...12,9 МПа (в 1,2...1,8 раз);
- 7 суток с 8,7 МПа до 18,3...28,1 МПа (в 2,1 ...3,2 раза);
- 28 суток с 12,3 МПа до 23,0...31 МПа (в 1,8...2,5 раза).

При использовании суперпластификатора Betonmix SP 200 S в меньшей степени наблюдается снижение В/Вяз отношения – с 0,41 до 0,40...0,37, с увеличением сроков начала схватывания с 8,30 до 12-00...19-00 мин и повышением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ через:

- 2 часа с 6,9 МПа до 7,1...7,8 МПа;
- 7 суток с 8,7 МПа до 9,2... МПа;
- 28 суток с 12,3 МПа до 12,8...14,9 МПа.

Использование замедлителя сроков схватывания PlastRetard PE (0,02–0,08%) позволило замедлить начало схватывания с 8-30 мин до 15-00...45-00 мин, конец схватывания – с 9-30 мин до 17-00...48-00 мин с уменьшением предела прочности при сжатии затвердевших образцов вяжущего, испытанных через 2 час.

При дальнейшем твердении наблюдается повышение прочностных характеристик через:

- 7 суток с 8,7 МПа до 10,1...12,7 МПа;
- 28 суток с 12,3 МПа до 12,6...14,4 МПа.

Разработанные комплексные химические добавки MAPFSU 84 (0,1%)+PlastRetard PE (0,08%) и MELFLUX 5581 F (0,1%)+PlastRetard PE (0,08%) позволяют в более широких пределах замедлить начало и конец схватывания гипсоцементных смесей до 45-46 мин и 47-48 мин, соответственно, с увеличением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ через:

- 2 часа с 6,9 МПа до 7,2...8,1 МПа;
- 7 суток с 8,7 МПа до 14,6...15,7 МПа;
- 28 суток с 12,3 МПа до 20,4 МПа.

С целью подтверждения стабильности сформировавшихся структур затвердевшего КГВ с комплексом минеральных и химических добавок MELFLUX 5581 F (0,1%)+PlastRetardPE (0,08%) методами РФА, ДТА и РЭМ были проведены исследования фазового состава и микроструктуры

С помощью РФА выявлено, что в исследуемой пробе затвердевшего КГВ присутствует двуводный сульфат кальция ($d=4,27-3,06-2,87-1,877\text{...}\text{\AA}$), карбонат кальция ($d=3,03; 2,49; 2,28; 2,09; 1,91\text{...}\text{\AA}$), очень слабой интенсивности $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ($d=4,93; 2,63; 1,93; 1,78\text{...}\text{\AA}$), низкоосновные гидроалюминаты кальция ($d=3,35; 2,29; 2,2\text{...}\text{\AA}$), кварц ($d=3,34\text{ \AA}$) (рисунок 3.11).

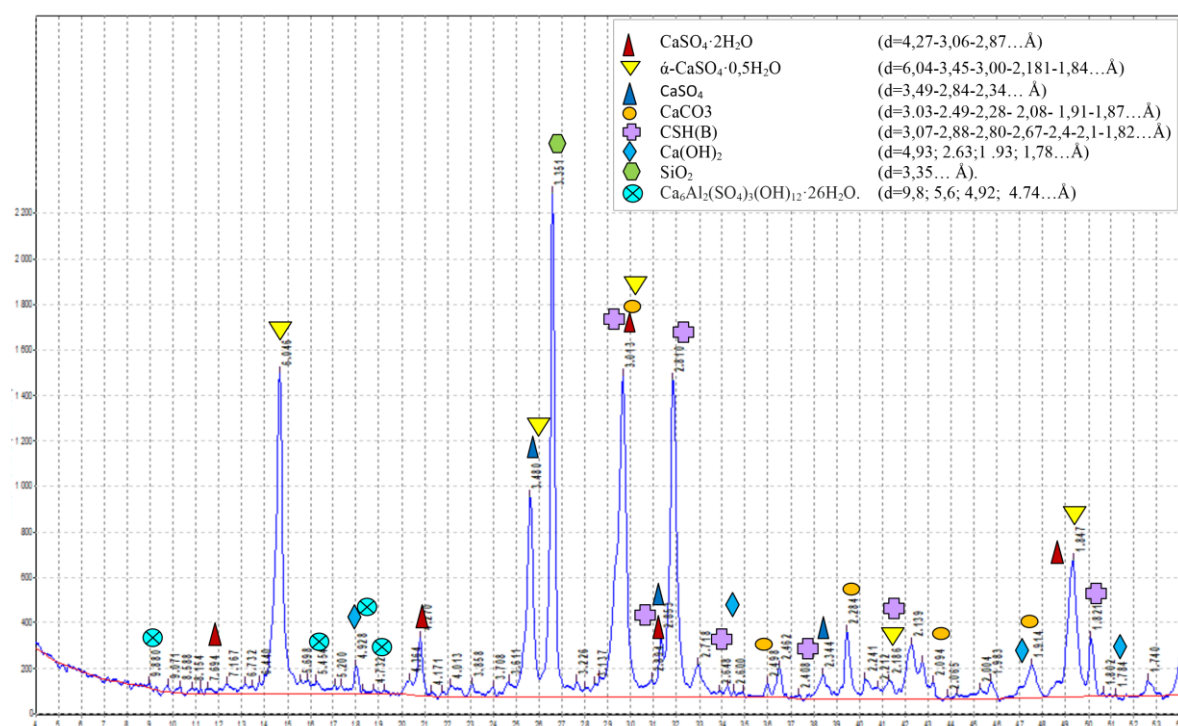


Рисунок 3.11 – РФА затвердевшего КГВ с комплексом минеральных и химических добавок

Рефлексы гидросиликата кальция типа CSH(B) ($d=3,07; 2,88; 2,80; 2,67; 2,52; 2,4; 2,205; 1,81 \dots \text{\AA}$) на рентгенограмме перекрывают сильные линии отражения дигидрата сульфата кальция. Наличие достаточно широких дифракционных максимумов ($d=2,8-3,1 \text{ \AA}$) может свидетельствовать о наличии новообразованной рентгеноаморфной фазы, соответствующей гелеобразным низкоосновным гидросиликатам кальция, которые относятся к плохо закристаллизованным минералам переменного состава и не создают четких дифракционных отражений.

Эттринтит ($d=9,7; 5,6; 4,92; 4,74 \dots \text{\AA}$) на рентгенограмме практически отсутствует, имеются лишь следы.

Данные рентгенофазового анализа полностью подтверждают результаты ДТА (рисунок 3.12). Было установлено, что на термограмме образца затвердевшего КГВ имеются эндотермические эффекты:

- при температуре 137°C (связан с дегидратацией двухводного гипса до полуводного);
- при температуре 428°C (связан с перестройкой кристаллической решетки при переходе растворимого ангидрита в нерастворимый);
- при температуре 575°C (связан с полиморфным превращением кварца, а также, возможно, относится к дегидратации портландита).

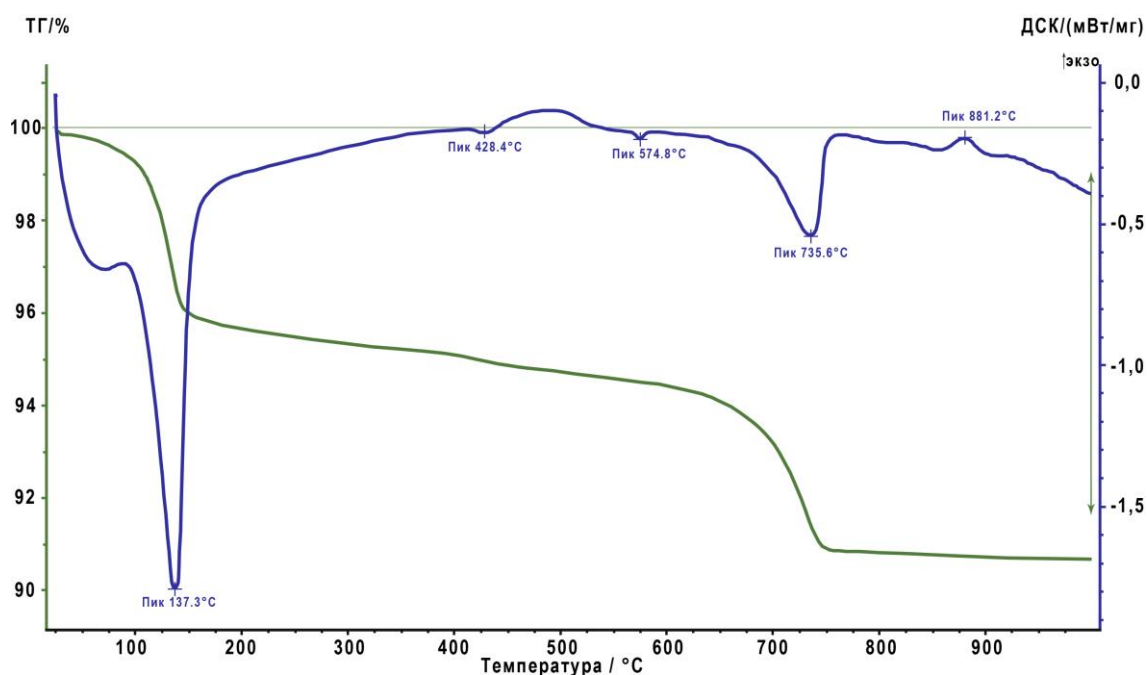


Рисунок 3.12 – ДТА затвердевшего КГВ с комплексом минеральных и химических добавок

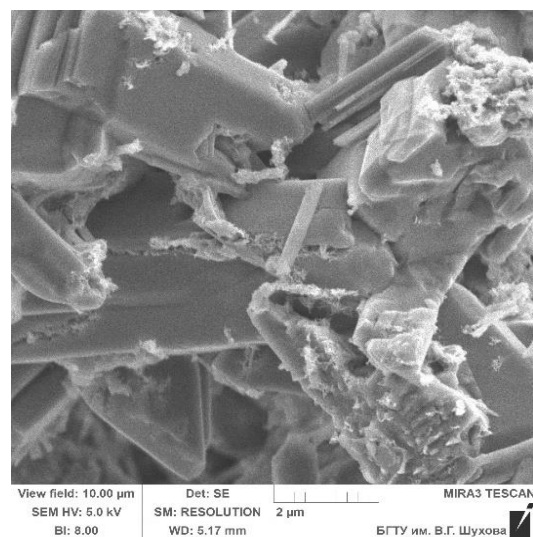
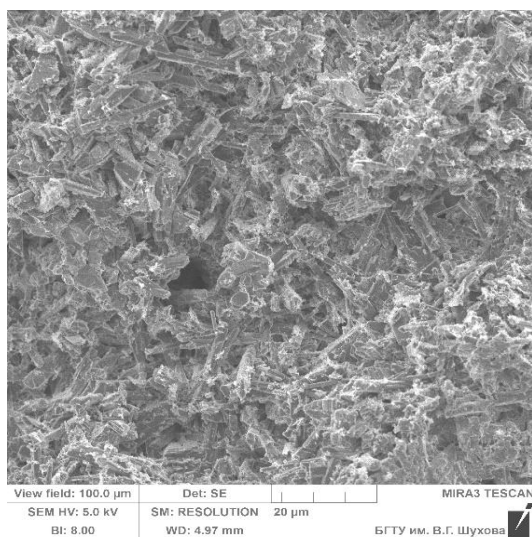
Четвертый эндоэффект при температуре 735,6 °С, вероятно, обусловлен диссоциацией доломита – $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, а также переходом α - и β -растворимого ангидрита в нерастворимый.

Экзотермический эффект в области 881 °С связан с разложением $\text{CSH}(\text{В})$ и нерастворимого ангидрита (на оксид кальция, сернистый газ и кислород), также возможно взаимодействие CaO с активными минеральными добавками.

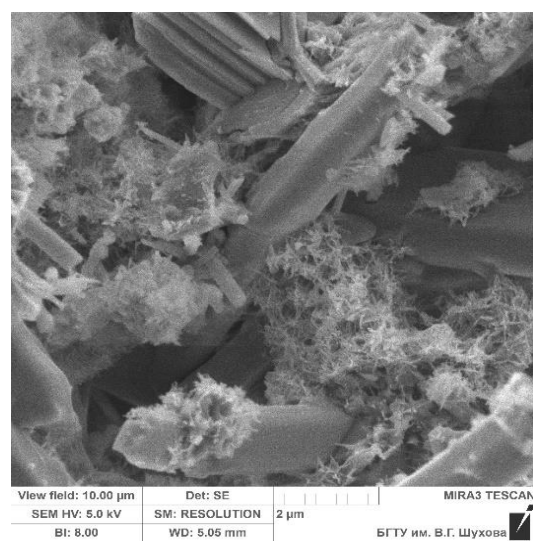
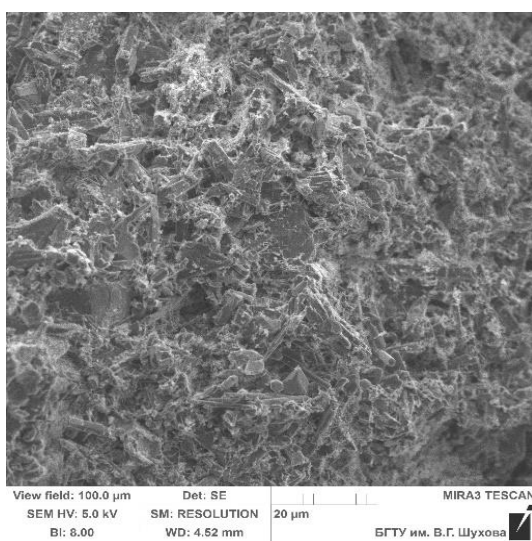
Используя растровый электронный микроскоп Tescan MIRA 3, была изучена микроструктура затвердевших образцов КГВ, анализ которой показал, что при совместном применении минеральных и органических добавок в составе вяжущего на ранней стадии гидратации (через 2 часа) в основном образуются призматические кристаллы двугидрата, размер которых зависит от модификации сульфата кальция (рисунок 3.13, а). На снимках можно увидеть достаточно мелкие зародыши кристаллов β -полугидрата (размером около 0,2 мкм), а также относительно крупные кристаллы α -полугидрата (размером более 1.5...2 мкм), на формирование которых оказывают влияние химические добавки (суперпластификатор и замедлитель сроков схватывания), образуя на поверхности кристаллов тончайшие пленки, оказывающие замедляющее действие на их рост.

На снимках 7 суточных образцов (рисунок 3.13, б) просматриваются микро- и нано- размерные новообразования низкоосновных гидросиликатов кальция (C-S-H-гель) и другие, которые уплотняют пустоты и поры между кристаллами гипса. К 28 суткам (рисунок 3.13, в) продолжается кристаллизация новообразований (в том числе низкоосновных гидросиликатов кальция второй генерации), что способствует дальнейшему уплотнению твердеющей гипсоцементной системы. Образуется непрерывная мелкокристаллическая структура с упрочненными связями между кристаллами, что способствует повышению физико-механических характеристик гипсоцементного камня.

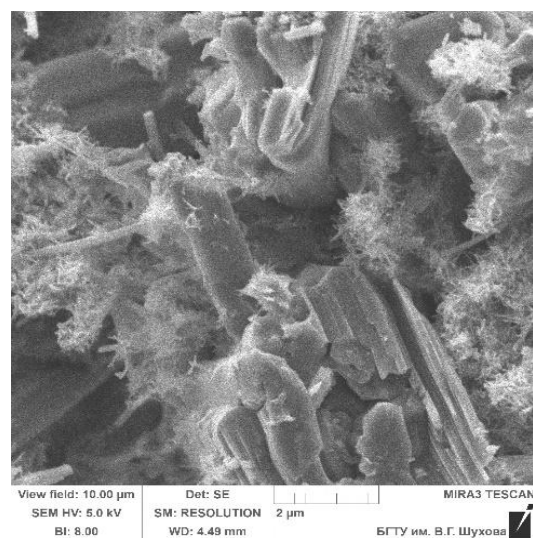
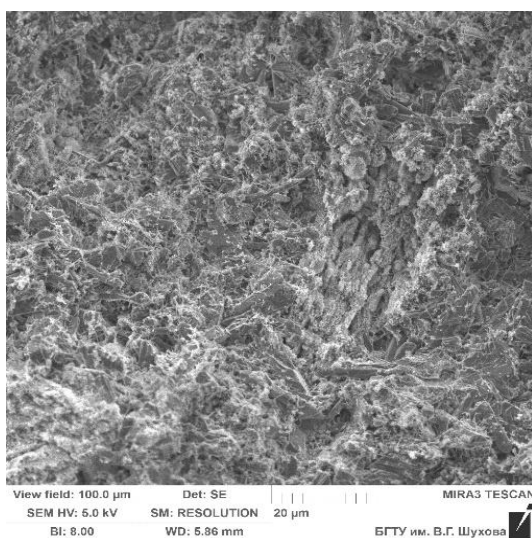
Полученные характеристики микроструктуры образцов гипсоцементного камня были подтверждены результатами проведенного микроанализа. Спектры 1–13 характеризуют состав в конкретной точке микрозондирования (рисунок 3.14, таблица 3.5).



а



б



в

Рисунок 3.13 – Микроструктура затвердевшего КТВ:

а – 2 час; б – 7 суток; в – 28 суток

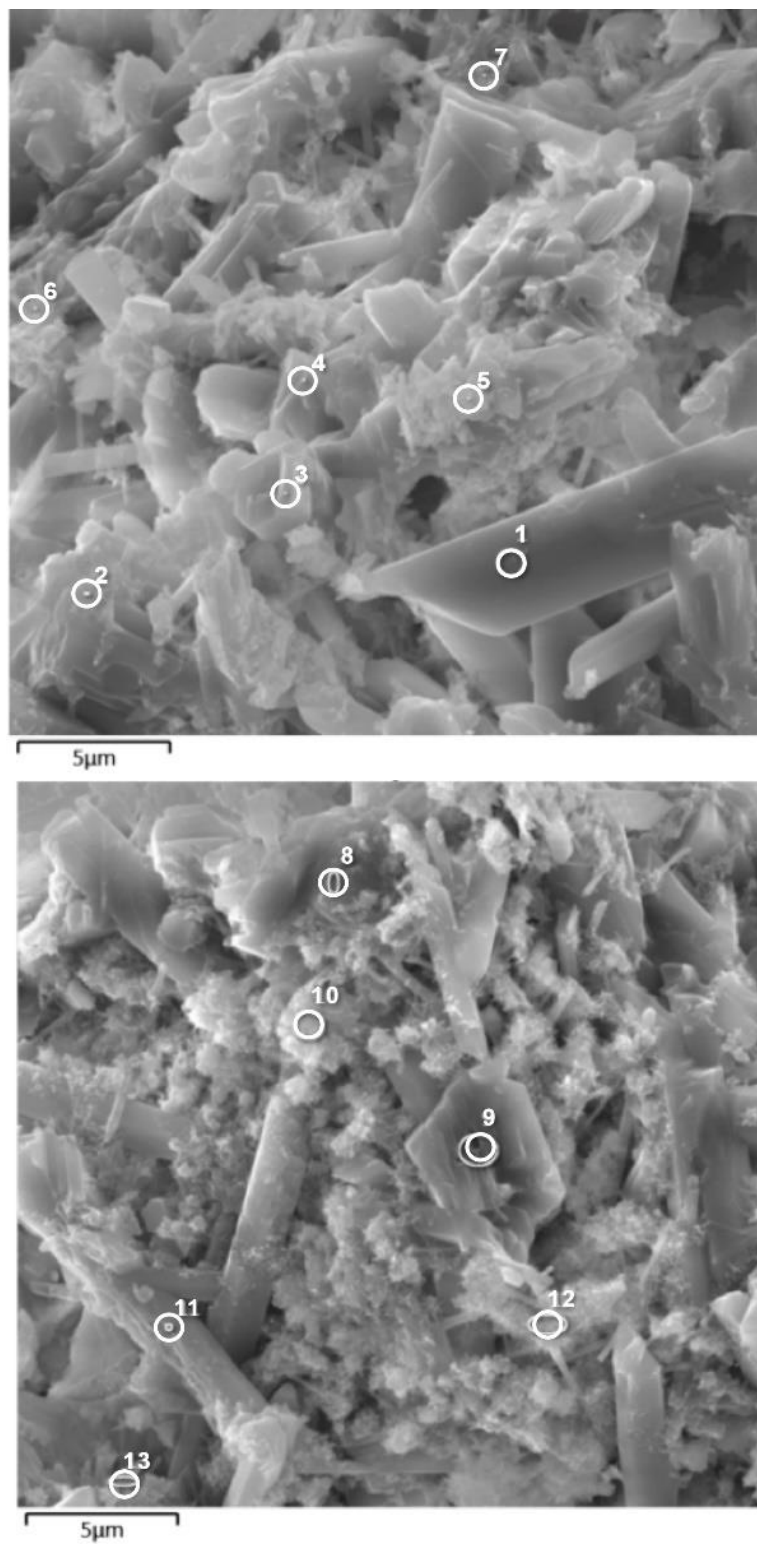


Рисунок 3.14 – Продукты гидратации затвердевшего КГВ (28 сут) в точках микрозондирования 1-13

Таблица 3.5 – Элементный состав в точках микрозондирования

Точки микрозондирования	Элементный состав в точках микрозондирования, масс.%								
	Ca	Si	O	C	S	Fe	Al	Mg	K
1	10,4	9,8	69,0	10,6	0,2	-	-		
2	5,8	4,2	68,0	14,4	3,4	0,8	2,5	0,7	0,2
3	9,4	8,9	69,5	11,8	0,4	-	-	-	-
4	8,7	8,7	71,0	11,4	0,3	-	-	-	-
5	9,7	2,9	65,9	18,5	2,5	-	0,5	-	-
6	9,0	6,3	66,9	16,7	-	-	-		
7	8,5	8,0	66,1	9,3	5,7	0,4	1,6	0,3	0,1
8	9,6	8,3	69,0	12,7	0,4	-	-	-	-
9	12,0	8,5	67,0	12,2	0,4	-	-	-	-
10	10,0	3,4	62,9	22,2	1,6	-	-	-	-
11	10,6	9,9	66,0	11,6	1,0	-	0,2	-	-
12	12,8	5,5	61,7	16,0	3,7	-	0,4	-	-
13	9,6	3,7	63,9	18,2	3,5	-	1,0	-	-

Результаты проведенных исследований показали, что тонкодисперсные минеральные добавки из кварцевого песка, метакеолина ВМК-45 и известняковой пыли являются эффективными компонентами для получения композиционных гипсовых вяжущих. Аморфная фаза SiO_2 в их составе способствует связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации C_3S с устранением условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция, этtringита, вызывающих саморазрушение структуры за счет кристаллизационного давления.

Более крупные частицы кварцевого песка и известняковой пыли выполняют роль микронаполнителя, а также являются центрами кристаллизации для новообразований, обеспечивая быстрый набор прочности КГВ при твердении. В результате формируется достаточно плотная и мелкозернистая структура композита за счет синтеза в матрице двуводного сульфата кальция низкоосновных гидросиликатов кальция и других малорастворимых новообразований, заполняющих поры и пустоты и создающих уплотненную «сетчатую» оболочку вокруг кристаллов двуводного гипса, что способствует повышению эксплуатационных характеристик гипсоцементного камня.

Таким образом, разработанные комплексные химические добавки MAPFSU 84 (0,1%)+PlastRetard PE (0,08%) и MELFLUX 5581 F (0,1%)+PlastRetard PE

(0,08%) позволяют замедлить начало и конец схватывания гипсоцементных смесей до 45-00...46-00 мин и 47-00...48-00 мин, соответственно, с увеличением предела прочности при сжатии затвердевшего КГВ: через 2 часа с 6,9 МПа до 7,2...8,1 МПа, через 7 суток с 8,7 МПа до 14,6...15,7 МПа и через 28 суток с 12,3 МПа до 20,4 МПа, соответственно.

Установлено, что комплекс минеральных и органических добавок в составе КГВ обеспечивает формирование мелкокристаллической структуры с упрочненными связями между кристаллами.

Малорастворимые новообразования низкоосновных гидросиликатов кальция и др. заполняют поры и пустоты вокруг кристаллов двуводного гипса, что способствует повышению физико-механических характеристик гипсоцементного камня.

3.3 Выводы по главе 3

1. Тонкодисперсные минеральные добавки из кварцевого песка, метакаолина ВМК-45 и известняковой пыли являются эффективными компонентами для получения композиционных гипсовых вяжущих. Аморфная фаза SiO_2 в их составе способствует связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации C_3S с устранением условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция, этtringита, вызывающих саморазрушение структуры за счет кристаллизационного давления.

2. Более крупные частицы кварцевого песка и известняковой пыли выполняют роль микронаполнителя, а также являются центрами кристаллизации для новообразований, обеспечивая быстрый набор прочности КГВ при твердении.

3. Подтверждена активность используемых тонкодисперсных минеральных добавок (кварцевого песка песчаных дюн Палестины с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ и метакаолина ВМК-45), что согласуется с показателями физико-механических характеристик затвердевшего КГВ.

4. Гранулометрический состав разработанного КГВ обеспечивает достаточно плотную упаковку его частиц, что способствует повышению его прочности и водостойкости.

5. Выявлено, что комплексные химические добавки – Mapf SU 84 (0,2 %) + PlastRetard PE (0,08 %) и Melflux 5581 F (0,2 %) + PlastRetard PE (0,08 %), позволяют замедлить начало схватывания гипсоцементных смесей более чем в 5 раз (с 8-30 до 45-00...46-00 мин, соответственно).

6. Более эффективной является комплексная химическая добавка Melflux 5581 F (0,2 %)+PlastRetard PE (0,08 %), позволяющая увеличить конечную прочность затвердевшего КГВ на 66 % (до 20,4МПа).

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУР И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШТУКАТУРНОГО РАСТВОРА НА ОСНОВЕ КГВ

4.1 Влияние зернового состава заполнителя на свойства штукатурных растворов на основе КГВ

В настоящее время в Палестине одним из прогрессивных направлений строительной отрасли является «зеленое» строительство зданий и сооружений по инновационным технологиям из экологически чистых строительных материалов с гарантированным обеспечением современных требований по качеству, по номенклатуре, энергоэффективности, экологическим и прочим требованиям, приближенным к стандартам Европейского Союза [123].

Для реализации этого направления потребуется значительное количество эффективных строительных материалов с преимущественным использованием для их изготовления местного сырья природного и техногенного происхождения, что позволит уменьшить негативное воздействие на окружающую среду и решить экономические проблемы в стране. Особое место среди современных материалов занимают отделочные материалы, от эффективности которых зависит архитектурная выразительность и эстетика градостроительства, а также создание комфортных условий проживания, рациональное использование топливно-энергетических ресурсов и многое другое.

В Палестине традиционно для внутренней и наружной отделки зданий и сооружений используют цементно-песчаную штукатурку импортного производства. В связи с этим актуальным является разработка конкурентно способных отделочных материалов нового поколения (штукатурных растворов и др.) на основе композиционных гипсовых вяжущих (КГВ) повышенной водостойкости, которые отвечают высоким требованиям по качеству продукции, эксплуатационным и экологическим характеристикам, а также энергетическим затратам на их производство, и смогут заменить импортные аналоги [123-125].

Достижению требуемых эксплуатационных характеристик штукатурных растворов на основе КГВ в большой степени способствует повышение плотности твердеющей системы за счет оптимизации зернового состава заполнителя.

В связи с этим целью исследования являлась разработка штукатурных растворов на КГВ с оптимальным зерновым составом мелкого заполнителя из материалов местной сырьевой базы Палестины (кварцевых песков и песчаной фракции отсева дробления известняка) с требуемыми технико-эксплуатационными характеристиками.

На современном уровне материаловедения решение задачи оптимизации качества мелкого заполнителя и его влияния на технологические и строительно-технические свойства растворных смесей и затвердевших штукатурных растворов на КГВ должно базироваться на определении:

- гранулометрического состава заполнителя с оптимальным числом зерен средних и мелких размеров;
- предельного размера зерен, их формы и оценке шероховатости поверхности с учетом минералого-петрографического состава заполнителя и содержания в нем вредных примесей;
- наименьшей межзерновой пустотности и водопотребности заполнителя, имеющих определяющее значение для реологии дисперсных систем и др.

Для приготовления качественных штукатурных растворов на КГВ песок должен обладать наименьшим объемом пустот. Чем выше удельная поверхность песка и его пустотность, тем, соответственно, должно быть больше в растворной смеси гипсоцементного теста для создания необходимой обмазки отдельных песчинок и заполнения пространства между ними.

По мнению авторов [105-116] в штукатурных растворах предпочтение следует отдавать пескам с непрерывной гранулометрией (присутствуют частицы всех размеров), так как в смесях с прерывистым зерновым составом (отсутствуют частицы промежуточных размеров) ограничивается подвижность мелких зерен, защемленных между крупными, и потребуется дополнительное количество гипсоцементного теста для обеспечения их необходимой удобоукладываемости.

К тому же отмечается, что растворные смеси с прерывистым зерновым составом более склонны к расслоению. Таким образом, необходимо более детальное изучение вопросов оценки гранулометрического состава мелкого заполнителя в составе штукатурных растворных смесей на основе КГВ.

Гранулометрический состав заполнителя может быть улучшен двумя способами: смешиванием фракций или выбором эталонной («идеальной») кривой гранулометрического состава.

При определении «оптимальной» гранулометрии заполнителей в практике строительного материаловедения и технологии строительных композиционных материалов в основном пользуются графиком, на котором выделена область нормируемого зернового состава («качественных» песков), если их характеристики соответствуют так называемой «идеальной» кривой просеивания, на которой определены допустимые пределы колебаний их гранулометрического состава (рисунок 4.1).

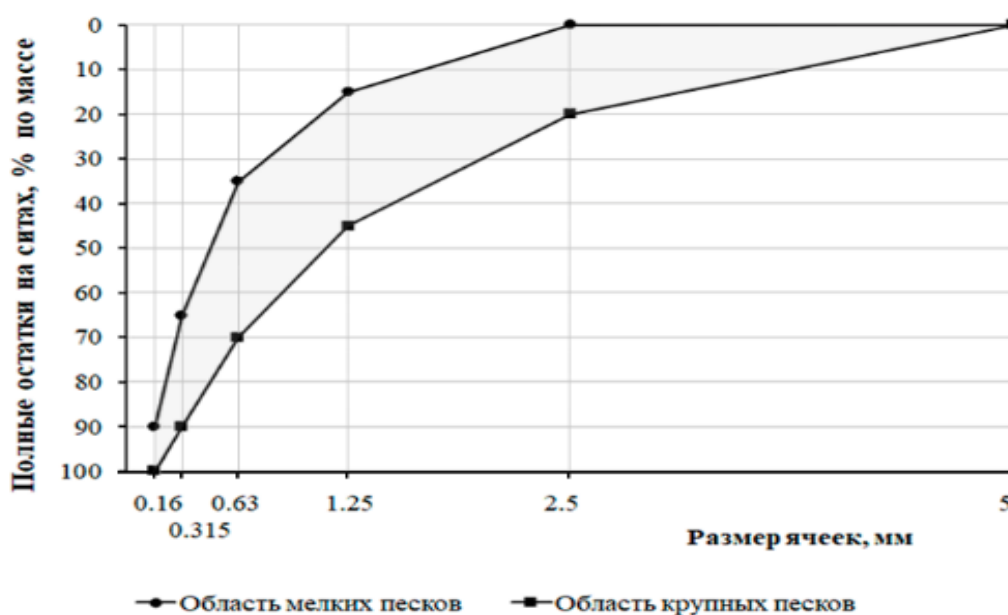


Рисунок 4.1 – Область нормируемого зернового состава «качественных» песков

Для получения «идеальной» кривой просеивания бывает недостаточно одного или двух видов мелких заполнителей, так как их гранулометрический состав далек от оптимального. В таком случае необходимо вводить дополнительно еще один

компонент или проводить корректировку соотношений между уже имеющимися видами заполнителей в проектируемой растворной смеси. В связи с этим применение простых методик подбора оптимального гранулометрического состава смеси заполнителей, заключающихся в нахождении наилучшего соотношения между их частицами разной крупности с целью обеспечения минимальной межзерновой пустотности оказывается недостаточным.

Для «идеальных» кривых предлагаются различные методы расчета и кривые просеивания – Фуллера, Боломея, Гуммеля, Даля, Абрамса, Хархардина А.Н., Белова В.В. и др. [109, 110]. По Фуллеру «идеальная» гранулометрическая кривая (таблица 4.1, рисунок 4.2) описывается уравнением:

$$A = 100 \cdot \sqrt{\frac{d_i}{D}}, \% \quad (4.1)$$

где A – проход через сито с d , мм выраженный, мас. %;

d_i – размер ячейки сита, мм;

D – наибольший размер зерна в смеси, мм.

Таблица 4.1 – Гранулометрический оптимизированный состав песка (по Фуллеру)

Остатки на ситах, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Остаток на дне
Проход через сито, мас., %	100,0	70,7	50,2	35,5	25,3	0
Частные остатки, %	0	29,3	20,5	14,7	10,2	0
Полные остатки, %	0	29,3	49,8	64,5	74,7	100

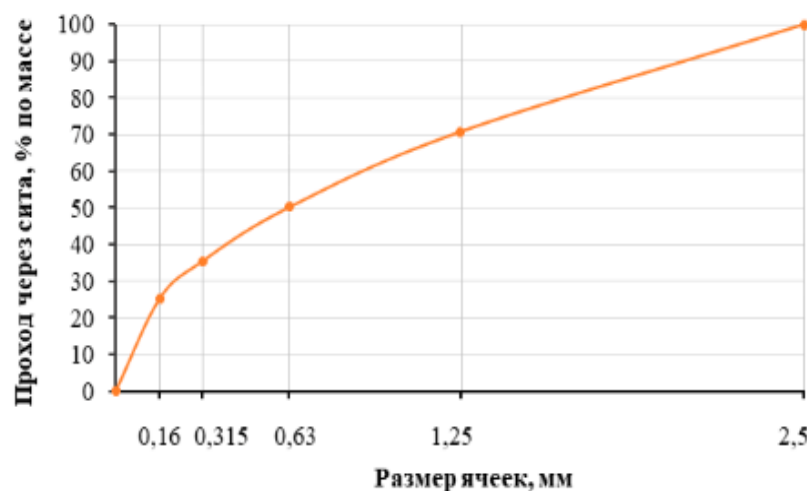


Рисунок 4.2 – «Идеальная» гранулометрическая кривая по Фуллеру

С учетом анализа способов расчета наиболее плотной упаковки заполнителей для оценки их влияния на свойства штукатурного раствора на КГВ изучался зерновой состав двух видов кварцевых песков и песчаной фракции отсева дробления известняка месторождений Палестины в соответствии с ГОСТ 8736 [126].

Химический состав исследуемых песков представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Химический состав исследуемых заполнителей

Пески Палестины	Химический состав, масс. %									
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O	CaO	MgO	SO ₃	R ₂ O	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п
Кварцевый песок №1 (П ₁)	91	4,5	0,3	2,6	0,3	0	0	0,7	0,5	0,1
Кварцевый песок №2 (П ₂)	85	11	0,6	0,7	0,8	0	0	0,9	0,5	0,5
Песчаная фракция отсева дробления известняка (П ₃)	7,4	2,9	1,1	57,2	30,5	0,1	0	0,4	0	0,4

Количество илистых и глинистых в кварцевых песках составило: в кварцевом песке №1 – менее 2 %, а в кварцевом песке №2 – менее 3%, что соответствует требованиям ГОСТ 8735.

В соответствии с ГОСТ 28013-98 [97] для штукатурных растворов не допускается содержание зерен заполнителя крупностью более 2,5 мм.

В работе был выполнен рассев исследуемых заполнителей по фракциям с помощью стандартного набора сит (таблица 4.3).

Было установлено, что исследуемые пески в соответствии с требованиями ГОСТ 8736-93* относятся:

по зерновому составу – ко II классу;

по крупности: мелкий с $M_{кр}=1,59$ (кварцевый песок П₁), очень мелкий с $M_{кр}=1,34$ (кварцевый песок П₂) и средний с $M_{кр}=2,13$ (песчаная фракция отсева дробления известняка П₃), и не вписываются по гранулометрическому составу в график с областью нормируемого зернового состава (рисунок 4.3).

Таблица 4.3 – Результаты рассева заполнителей

Остатки на ситах, мм	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	Меньше 0,16
1. Кварцевый песок $M_{кр}=1,59$						
Частные остатки, %	0	0,05	1,35	56,70	41,75	0,15
Полные остатки, %	0	0,05	1,355	58,055	99,805	100
2. Кварцевый песок $M_{кр}=1,34$						
Частные остатки, %	0,55	0,7	0,8	28,9	68,7	0,35
Полные остатки, %	0,55	1,25	2,05	30,95	99,65	100
3. Песчаная фракция отсева дробления известняка $M_{кр}=2,13$						
Частные остатки, %	6,15	16,5	18,9	12,2	35,0	11,25
Полные остатки, %	6,15	22,65	41,55	53,75	88,75	100

Оценка песка по модулю крупности весьма приближенная, так как при разном модуле крупности разные виды песков могут существенно отличаться по удельной поверхности и пустотности.

Далее, для получения оптимального гранулометрического состава заполнителя, приближенного к «идеальной» кривой Фуллера и обеспечивающего наиболее плотную упаковку в штукатурном растворе на КГВ, была рассмотрена возможность его обогащения путем смешивания двух видов кварцевых песков с песчаной фракцией отсева дробления известняка.

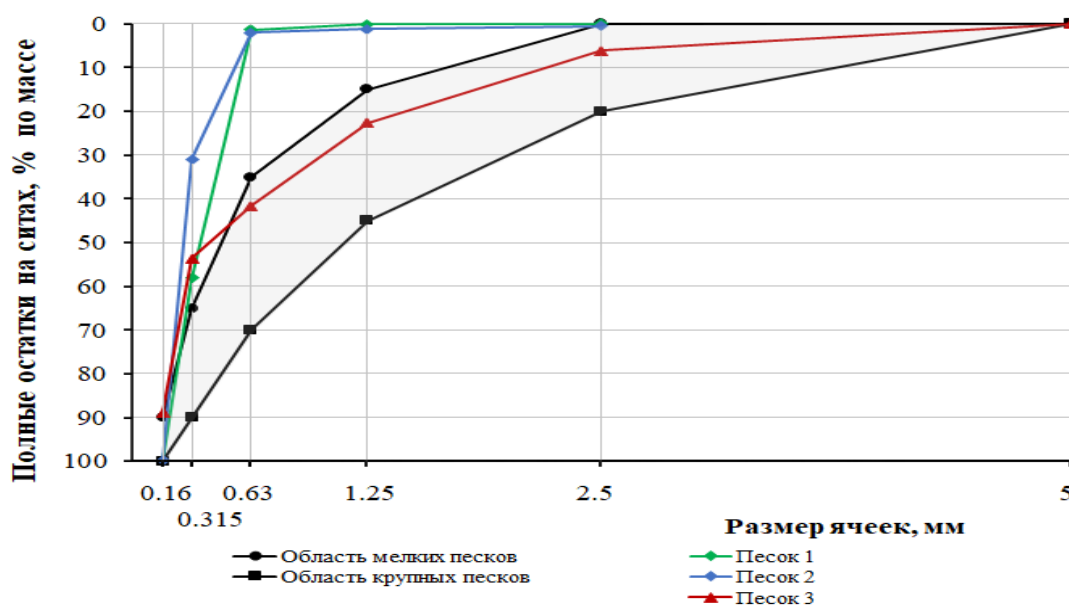
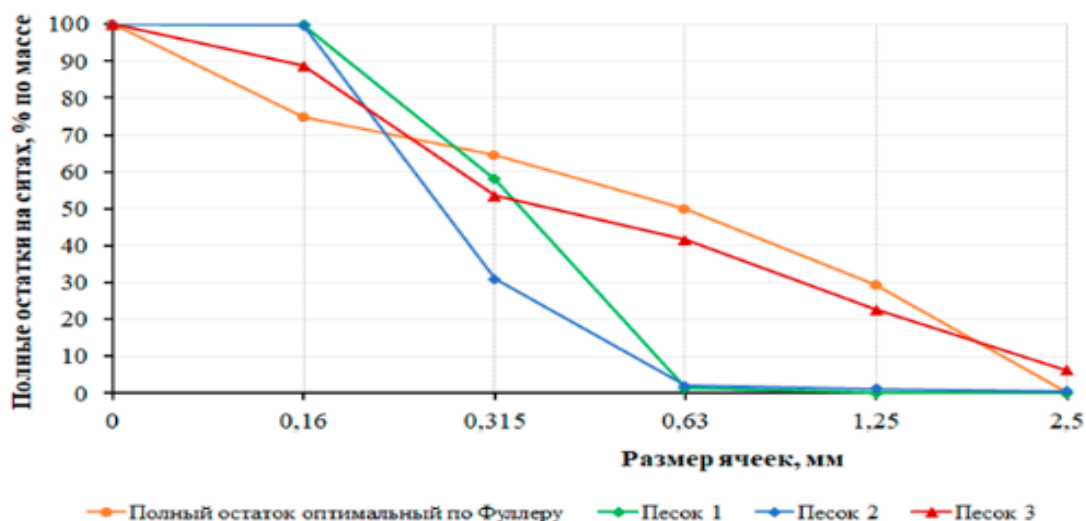
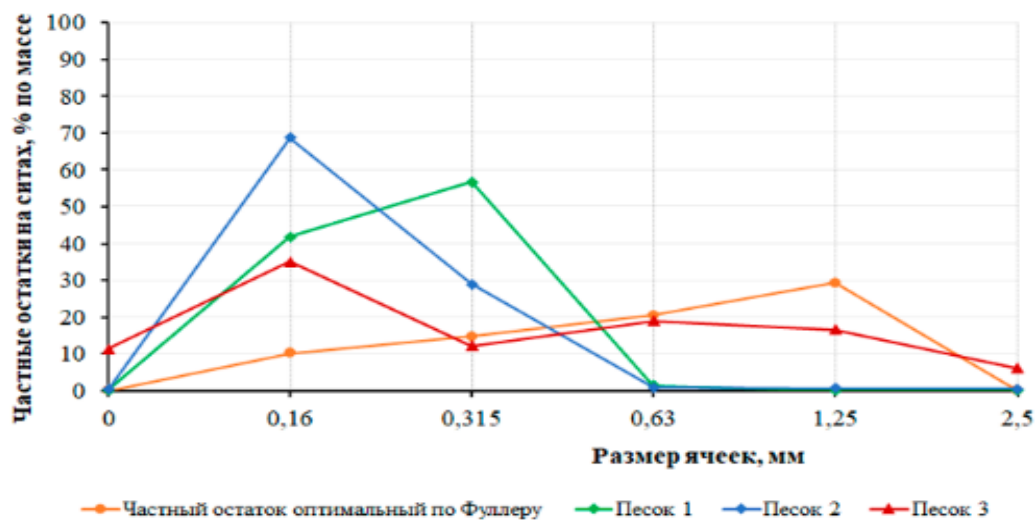


Рисунок 4.3 – Гранулометрические кривые используемых песков

Для каждого вида заполнителя рассчитывали гранулометрический состав его частиц [128] с помощью уравнения «оптимальной» кривой Фуллера, а затем строили кривые рассеивания (по полному проходу частиц через сита и по частным остаткам), и проводили сравнение с «оптимальным» составом (рисунок 4.4).



а



б

Рисунок 4.4 – Кривые рассеивания исследуемых песков в сравнении с «оптимальной» кривой Фуллера: а) по полным остаткам; б) по частным остаткам

Полученные расчетные данные вводились в программу «Granlab» [128], предназначенную для автоматизированного расчета «оптимального» гранулометрического состава смеси заполнителей, в сравнении к «идеальной» кривой распределения Фуллера по полному проходу через каждое сито.

В качестве основного критерия оптимальности рассматривали величину расхождения рассчитанного гранулометрического состава с «идеальной» кривой распределения частиц. В связи с тем, что «идеальная» кривая просеивания дает только приблизительный состав максимальной упаковки частиц заполнителя со сферической формой и не в полной мере учитывает возможные отклонения от реальной, было предложено, не выходя из норм зернового состава, расширить диапазон для «идеальной» кривой Фуллера со сдвигом на каждом сите влево и вправо на 5%, что обеспечит более гибкое регулирование зернового состава смеси заполнителей, благодаря варьированию количеством рассматриваемых фракций (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Диапазон зернового состава заполнителя относительно «идеальной» кривой Фуллера

Размер ячеек, мм	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	дно
Диапазон слева 5%	100	87,9	71,0	35,0	22,6	0	0
Диапазон справа 5%	100	97,9	81,0	45,0	32,6	5,0	5,0

С помощью программы «Granlab» исследуемые заполнители были разделены на 5 частей (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Полный проход частиц разделенных заполнителей через

№ состава	Наименование песков	Размер ячеек сит, мм					
		2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.071
		Полный проход частиц через ячейки сит, %					
1	П₁₋₁	100,0	100,0	98,6	41,9	0,2	0
2	П₂₋₁	98,2	96,0	93,4	0	0	0
3	П₂₋₂	100,0	100,0	100,0	100,0	0,5	0
4	П₃₋₁	85,2	45,5	0	0	0	0
5	П₃₋₂	100,0	100,0	100,0	79,1	19,3	6,8

Примечание: **П₁** – песок оставлен без изменения; **П₂** – песок разделен на две части: первая часть (**П₂₋₁**) с размером ячеек от 2,5 до 0,63 мм; вторая часть (**П₂₋₂**) с размером ячеек 0,16 мм; **П₃** – песок разделен также на две части: первая часть (**П₃₋₁**) с размером ячеек 2,5...1,25 мм; вторая часть (**П₃₋₂**) с размером ячеек от 0,315 мм до 0,16 мм.

Результаты расчета количественного содержания разделенных заполнителей «оптимального» гранулометрического состава представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Содержание частиц заполнителей «оптимального» гранулометрического состава

Наименование песков	Содержание %	Размер ячеек сит, мм					
		2,5	1,25	0,63	0,315	0,16	0,071
П₁₋₁	39,51	39,5	39,5	39,0	16,6	0,1	0,0
П₂₋₂	6,05	6,1	6,1	6,1	6,1	0,0	0,0
П₃₋₁	54,44	46,4	24,8	0,0	0,0	0,0	0,0

Графическое изображение «идеальной» области гранулометрии частиц смеси заполнителей представлено на рисунке 4.5.

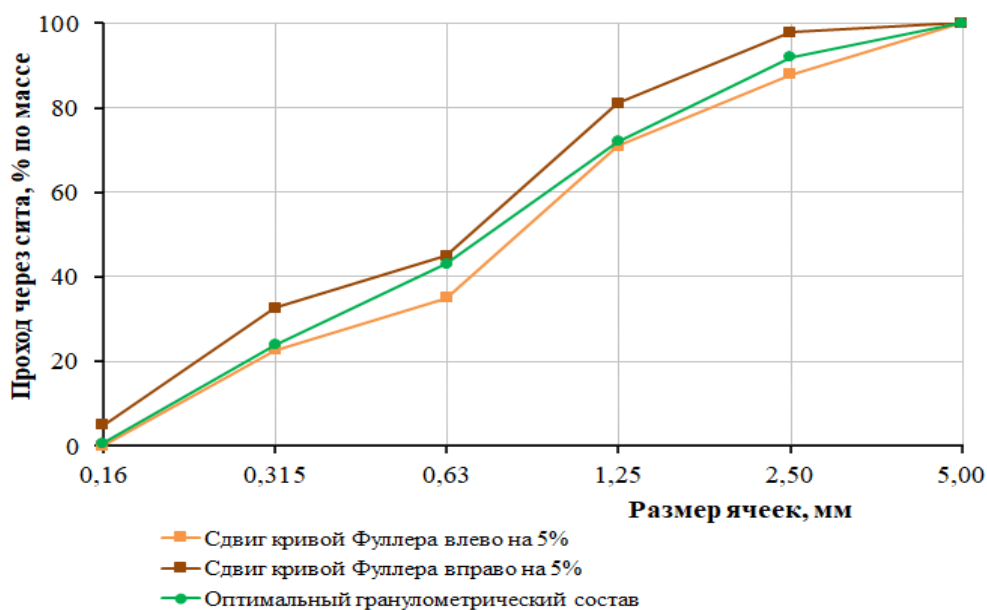


Рисунок 4.5 – Графическое изображение «идеальной» области гранулометрии частиц оптимизированной смеси заполнителей

Было установлено, что рассчитанный с помощью программы «Granlab» гранулометрический состав заполнителя полностью соответствует выделенной области нормируемого зернового состава «качественных» песков (рисунок 4.6).

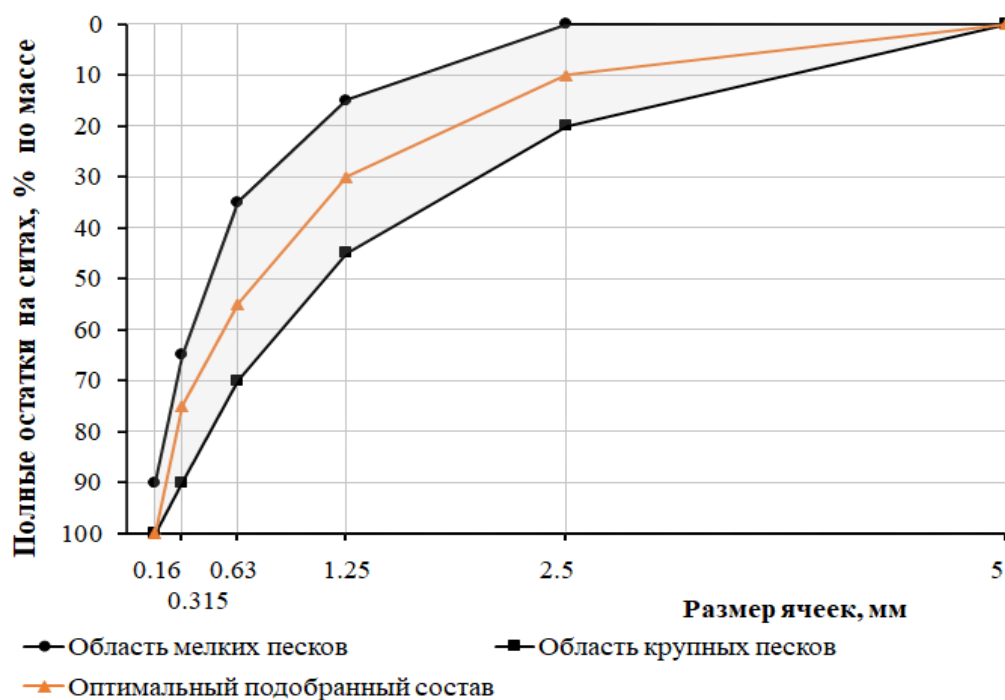


Рисунок 4.6 – Разработанный «оптимальный» гранулометрический состав заполнителя в области нормируемого «качественных» песков

С целью проверки адекватности расчетного способа нахождения оптимального гранулометрического состава смеси исследуемых заполнителей, определяли их насыпные плотности.

Было установлено, что состав заполнителя, рассчитанный с применением программы «Granlab» отличается максимальной насыпной плотностью и минимальной пустотностью (таблица 4.7).

Таблица 4.7 - Насыпная плотность и пустотность исследуемых заполнителей

Наименование песков	Насыпная плотность, кг/м ³	Пустотность, %
П ₁	1540	39,5
П ₂	1501	41,1
П ₃	1600	38,5
Оптимальный состав	1635	31,7

С учетом величины истинной плотности кварцевого песка, равной 2540 кг/м^3 , и истинной плотности известняка – 2600 кг/м^3 , расчетная пустотность для Π_1 , Π_2 , Π_3 и «оптимальной» смеси заполнителей составила 39,5; 41,1, 38,5 и 31,7 %, а снижение пустотности по отношению к исходным пескам – 24,6, 29,7 и 21,5 %, соответственно. Насыпная плотность «оптимальной» смеси заполнителей с $M_{кр}=2,2$ составила 1635 кг/м^3 .

Далее, из штукатурных растворов на основе КГВ, с использованием «оптимизированной» смеси заполнителей (при соотношении песков, % по массе: $\Pi_{1-1}:\Pi_{2-2}:\Pi_{3-1}=39,5:6,0:54,5$, соответственно) были заформованы образцы-кубы размером $7,07 \times 7,07 \text{ см}$, испытанные в возрасте 2 час, 7 сут и 28 сут. В исследуемых составах использовали химические добавки: замедлитель сроков схватывания Plast Retard PE (0,08%) и суперпластификатор Melflux 1461 F (0,2%).

Зависимости свойств затвердевших штукатурных растворов на КГВ от рецептурных факторов представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Состав и свойства штукатурных растворов на КГВ

№	Доля вяжущего к заполнителю	В/Вяж .	Начало схватывания, мин	Подвижность, мм	Рсж., Мпа, через			Кр
					2 часа	7 сут	28 суток (естеств. тверд/сухой)	
1	1:2	0,50	52	150	2,9	9,5	10,2/12,1	0,69
2	1:2*	0,49	51	150	3,0	10,0	13,8/17,8	0,72

Примечание: * - состав штукатурного раствора с заполнителем «оптимальной» granulometрии

Следует отметить, что разработанное ранее коллективом авторов 5-ти компонентное КГВ [68, 88, 128], включает 68 % гипсового вяжущего (Г-5 Б-II–70 % и ГВВС-16–30 %), 10 % портландцемента, 20 % тонкодисперсного кварцевого песка, 0,5 % метакаолина ВМК-45 и 1,5 % известняковой пыли.

Гранулометрический состав КГВ отклоняется от «оптимального», рассчитанного с помощью компьютерной программы по уравнению кривой Функа-Дингера, только на 15,3 %.

Таким образом, с применением программы «Granlab» был рассчитан «оптимальный» гранулометрический состав мелкого заполнителя из смеси трех разных песков месторождений Палестины. За счет рационального гранулометрического состава КГВ и «оптимизированной» смеси заполнителей с достаточно плотной упаковкой частиц а также суперпластификатора Melflux 5581 F и стабилизатора MAPF Forbo-Crete S 010, достигнута минимальная водопотребность штукатурной смеси при требуемой подвижности и повышена прочность хранившихся во влажных условиях образцов затвердевшего раствора в 28-ми суточном возрасте – на 35 %, сухих образцов – на 47 %, коэффициент размягчения – с 0,69 до 0,72.

4.2 Проектирование состава штукатурного раствора на КГВ методом математического планирования эксперимента

На основании выполненных теоретических и лабораторных исследований была установлена возможность получения штукатурных смесей на основе КГВ с использованием комплекса органических добавок – скуперпластификаторов Mapf SU 84 и Melflux 5581 F, замедлителя Plast Retard PE, стабилизатора Mapf Forbo-Crete S 010, и мелкого заполнителя из обогащенного песчаной фракцией отсева дробления известняка некондиционного кварцевого песка песчаных дюн Палестины. С применением метода математического планирования эксперимента [129-130] получены модели влияния рецептурно-технологических факторов на свойства штукатурного раствора на КГВ. Был запланирован активный 3-х факторный эксперимент. Варьируемыми параметрами выбраны: X_1 – доля заполнителя в составе штукатурного раствора, X_2 – В/Вяж отношение; X_3 – содержание суперпластификатора Melflux 5581 F, % от массы КГВ.

Были приняты определенные ограничения: для подвижности штукатурных растворов – при ручном нанесении в интервале 140...160 мм, а при машинном нанесении в интервале 150...170 мм; для сроков начала схватывания: при ручном нанесении – не ранее 30 мин, а при машинном нанесении – не ранее 60 мин.

В таблице 4.9 представлены значения показателей факторов варьирования.

Таблица 4.9– Значения показателей факторов варьирования

Факторы варьирования		Уровни варьирования			Интервал варьиров.
		-1	0	+1	
Доля .заполнителя,частей	X_1	1	1,5	2	10
В/Вяз отношение	X_2	0,3	0,4	0,5	0,1
Расход суперпластификатора, %	X_3	0,1	0,2	0,3	0,1

Таблица 4.10 – Уровни варьирования входных параметров

№ опытов	Уровни варьирования входных параметров					
	X_1	X_2	X_3	КГВ : 3	В/В	СП
				X_1	X_2	X_3
1	1	1	1	1:2	0,5	0,3
2	1	1	-1	1:2	0,5	0,1
3	1	-1	1	1:2	0,3	0,3
4	1	-1	-1	1:2	0,3	0,1
5	-1	1	1	1:1	0,5	0,3
6	-1	1	-1	1:1	0,5	0,1
7	-1	-1	1	1:1	0,3	0,3
8	-1	-1	-1	1:1	0,3	0,1
9	1	0	0	1:2	0,4	0,2
10	-1	0	0	1:1	0,4	0,2
11	0	1	0	1:1,5	0,5	0,2
12	0	-1	0	1:1,5	0,3	0,2
13	0	0	1	1:1,5	0,4	0,3
14	0	0	-1	1:1,5	0,4	0,1
15	0	0	0	1:1,5	0,4	0,2
16	0	0	0	1:1,5	0,4	0,2
17	0	0	0	1:1,5	0,4	0,2

В качестве отклика выбраны: подвижность – $P(Y_1)$; начало сроков схватывания – $T(Y_2)$; пределы прочности при изгибе – через 2 часа – $R_{из}^2(Y_3)$, в 7 суток – $R_{из}^7(Y_4)$ и в 28 суток – $R_{из}^{28}(Y_5)$; пределы прочности при сжатии – через 2 часа – $R_{сж}^2(Y_6)$, в 7 суток – $R_{сж}^7(Y_7)$ и в 28 суток – $R_{сж}^{28}(Y_8)$; K_p в 7 сут (Y_9).

Результаты испытаний представлены в таблице 4.11.

Графическая интерпретация результатов обработки математических моделей, полученных с использованием уравнений регрессии, приведена на рисунке 4.7.

Таблица 4.11 – Результаты испытаний

№ состава	Распływ, мм	Нач. схват., мин	Риз, МПа, через			Рсж, МПа, через			Kp ⁷
			2 час	7 сут	28 сут	2 час	7 сут	28 сут	
	У ₁	У ₂	У ₃	У ₄	У ₅	У ₆	У ₇	У ₈	У ₉
1	150	44	1,8	4,8	5,8	2,9	9,6	12,7	0,69
2	220	50	1,2	8,1	8,3	2,0	18,2	19,3	0,75
3	85	15	1,9	5,1	5,6	3,1	10,2	13,9	0,61
4	150	46	5,8	9,1	9,4	9,6	20,2	22,4	0,78
5	110	24	1,1	3,1	3,8	1,7	5,1	7,5	0,60
6	140	40	2,2	3,5	4,1	4,0	7,2	8,3	0,63
7	70	10	0,5	1,2	1,7	1,0	2,2	3,2	0,57
8	85	13	3,0	4,3	4,9	5,0	8,6	9,9	0,62
9	115	30	1,7	4,0	4,5	2,9	8,2	9,3	0,67
10	170	47	4,8	7,8	8,1	8,0	17,2	18,6	0,77
11	170	45	2,9	5,2	7,3	4,7	10,0	16,2	0,72
12	105	22	3,1	5,4	7,6	5,3	11,0	17,1	0,68
13	165	51	5,1	6,7	7,1	8,4	13,2	14,2	0,73
14	95	21	0,6	0,8	1,3	1,5	1,9	2,8	0,50
15	135	29	3,4	5,7	7,9	5,7	11,0	17,3	0,78
16	140	30	3,3	5,7	7,8	5,6	10,6	16,9	0,75
17	145	31	3,2	5,6	7,6	5,4	10,4	16,2	0,76

Примечание: в каждый состав вводили 0,08 % замедлителя Plast Retard PE.

После статистической компьютерной обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии, позволяющие описать влияние варьируемых факторов на свойства штукатурного раствора на КГВ.

Взаимосвязь исследуемых факторов с *подвижностью* штукатурного раствора (мм) описывается уравнением:

$$Y_1 = 138,4 - 23,5X_1 + 29,5X_2 + 27X_3 + 1,9 \cdot (X_1)^2 - 3,0 \cdot (X_2)^2 - 10,5(X_3)^2 - 2,5X_1X_2 - 11,3X_1X_3 + 5X_2 \cdot X_3 \quad (4.2)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,99$.

Взаимосвязь исследуемых факторов с *временем начала схватывания* штукатурного раствора (мм) описывается уравнением:

$$Y_2 = 33,5 - 7,3X_1 + 9,7X_2 + 9,8 X_3 + 1,7 (X_1)^2 - 3,3(X_2)^2 - 0,8(X_3)^2 + 1,5 X_1X_2 - 2,3X_1X_3 \quad (4.3)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,89$.

Взаимосвязь исследуемых факторов с коэффициентом размягчения штукатурного раствора (мм) описывается уравнением:

$$Y_3 = 0,63 - 4,1X_1 + 0,1X_3 + 5,3(X_1)^2 + 3,3(X_2)^2 - 0,1(X_3)^2 + 0,02X_1X_2 - 0,02X_1X_3. \quad (4.4)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,82$

Предел прочности при изгибе (МПа) через 2 часа описывается уравнением:

$$Y_4 = 4,1 - X_1 - 0,5X_2 + 0,8X_3 - 0,2(X_1)^2 - 0,5(X_2)^2 - 0,6(X_3)^2 + 0,7X_1X_2 + 0,04X_1X_3 - 0,6X_2X_3. \quad (4.5)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,81$.

Предел прочности при изгибе (МПа) через 7 суток описывается уравнением:

$$Y_5 = 5,4 - 1,5X_1 + 2,1X_3 + 0,7(X_1)^2 + 0,1(X_2)^2 - 1,4(X_3)^2 + 0,4X_1X_2 - 0,5X_1X_3 - 0,3X_2X_3 \quad (4.6)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,96$.

Предел прочности при изгибе (МПа) через 28 суток описывается уравнением:

$$Y_6 = 7,2 - 1,3X_1 + 2,0X_3 - 0,30(X_1)^2 + 0,9(X_2)^2 - 2,4(X_3)^2 + 0,5X_1X_2 - 0,4X_1X_3 - 0,3X_2X_3 \quad (4.7)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,94$.

Предел прочности при сжатии (МПа) через 2 часа описывается уравнением:

$$Y_7 = 6,2 - 1,7X_1 - 0,9X_2 + 1,3X_3 - 0,3(X_1)^2 - 0,7(X_2)^2 - 0,9(X_3)^2 + 1,1X_1X_2 - 0,01X_1X_3 - 0,9X_2X_3. \quad (4.8)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,76$.

Предел прочности при сжатии (МПа) через 7 суток описывается уравнением:

$$Y_8 = 10,7 - 3,6X_1 + 4,6X_3 + 2,3(X_1)^2 + 0,05(X_2)^2 - 2,9(X_3)^2 \quad (4.9)$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,98$.

Предел прочности при сжатии (МПа) через 28 суток описывается уравнением:

$$Y_9 = 15,59 - 3,19X_1 + 5,08X_3 - 0,34(X_1)^2 + 2,37(X_2)^2 - 5,79(X_3)^2 + 0,98X_1X_2 - 0,95X_1X_3 - 0,09X_2X_3 \quad (4.10).$$

Среднеквадратическое отклонение – $R^2=0,96$

Полученные модели достаточно хорошо описывают изучаемую систему, что подтверждается высокими коэффициентами среднеквадратического отклонения (R^2).

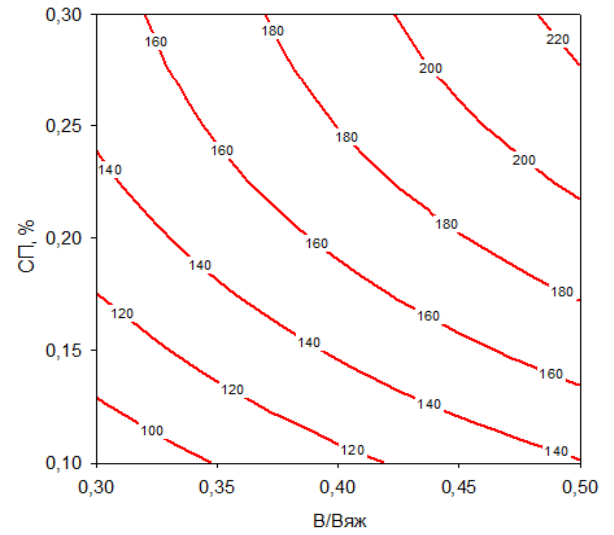
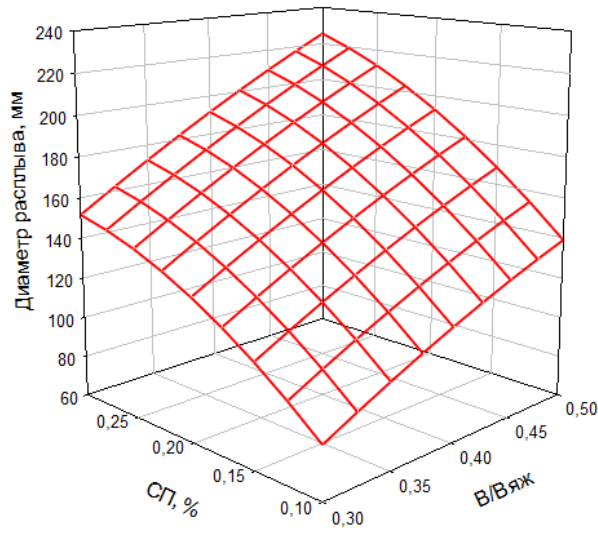
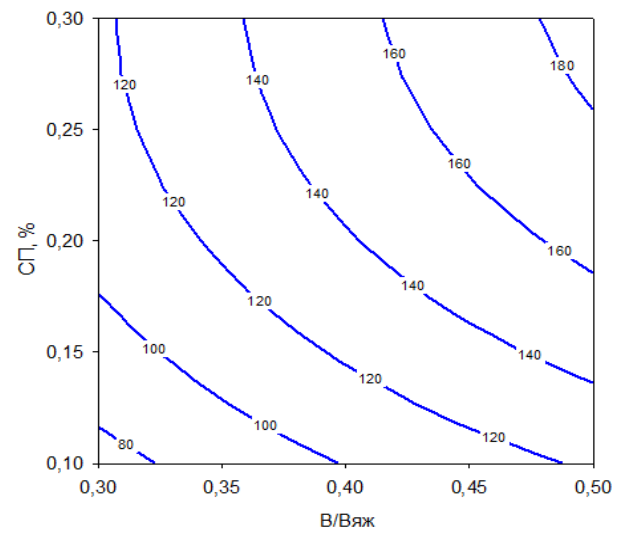
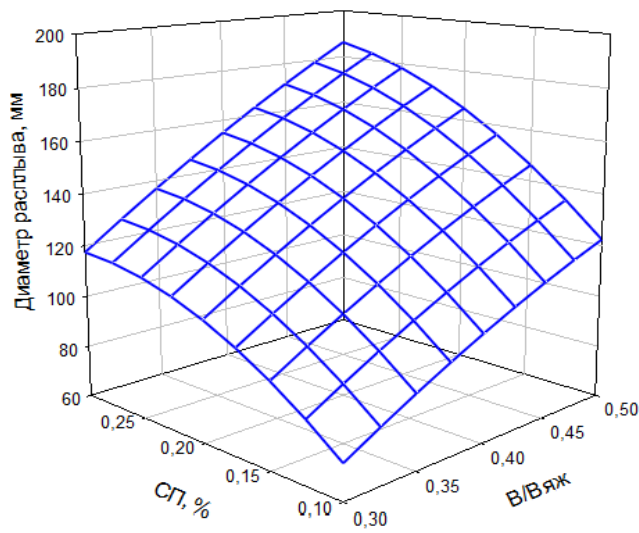
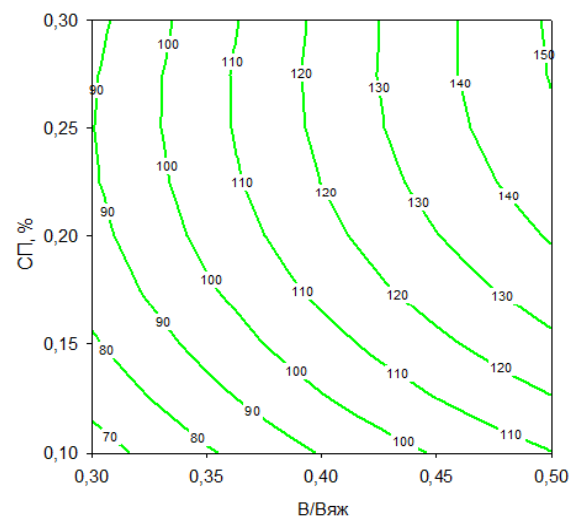
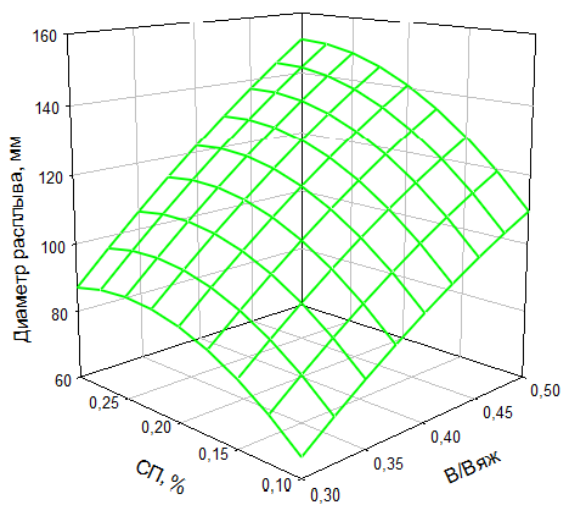
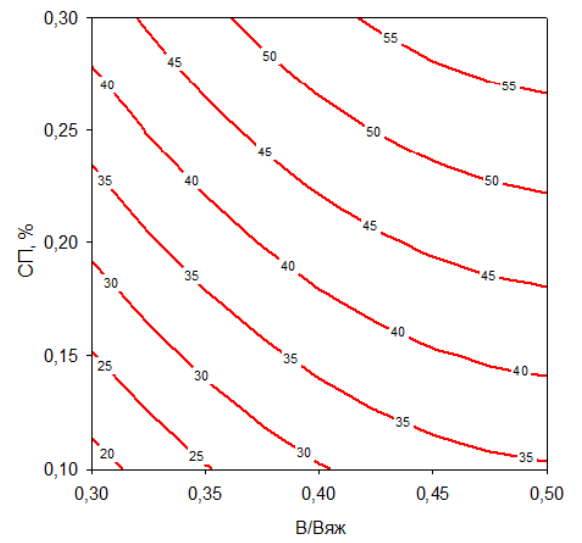
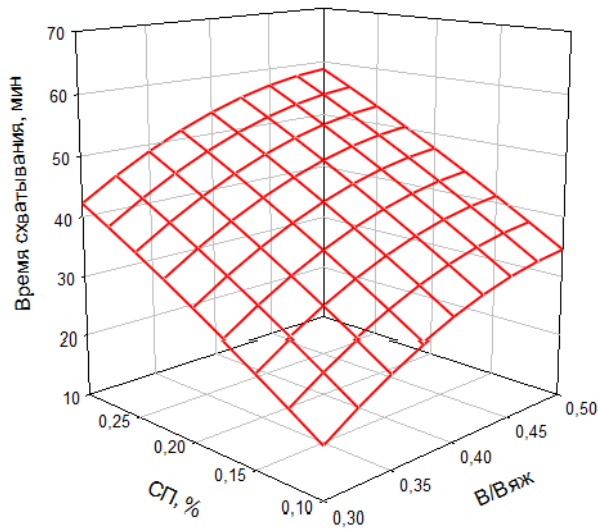
а*б**в*

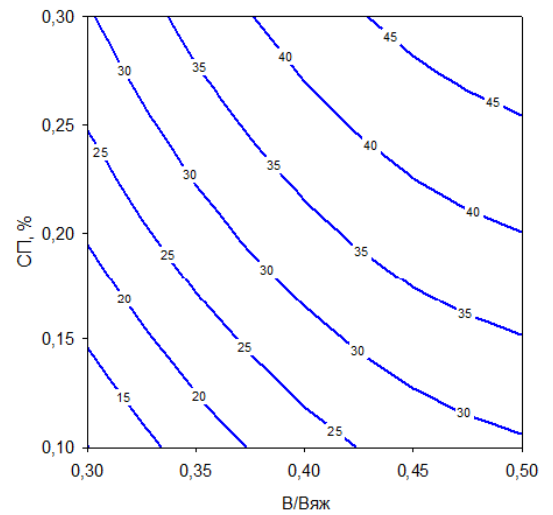
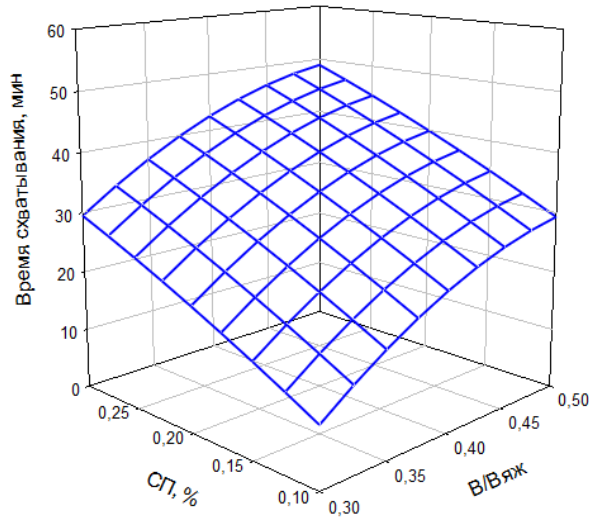
Рисунок 4.7 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяз отношения на подвижность (Y_1) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя:

а – 1:1; *б* – 1:2; *в* – 1:3.

а



б



в

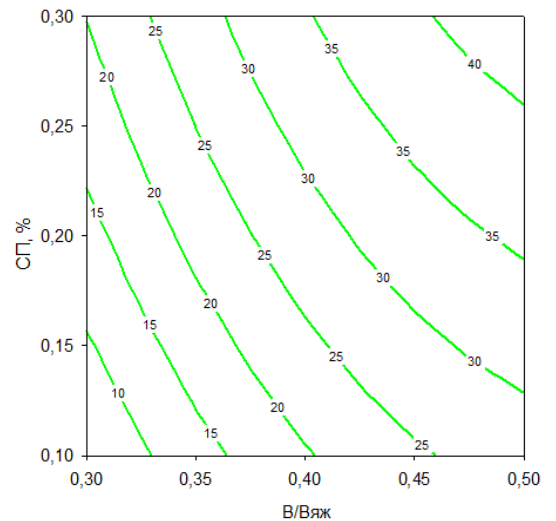
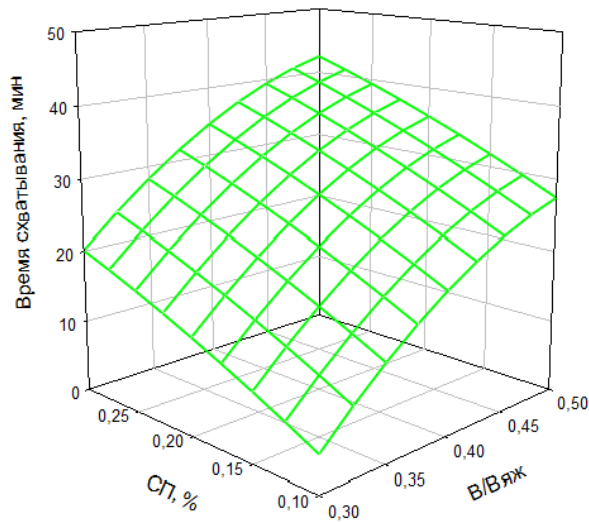
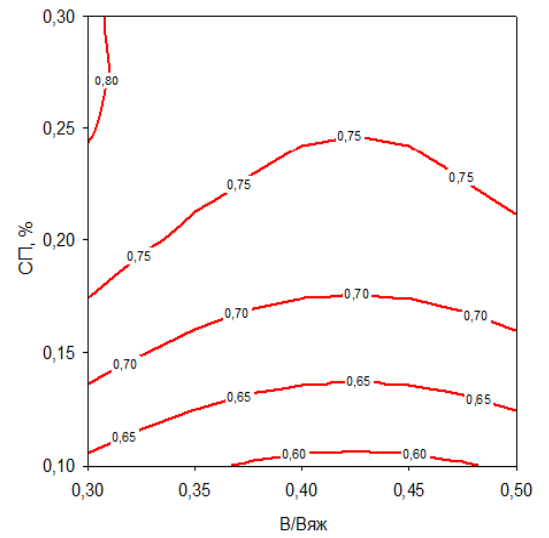
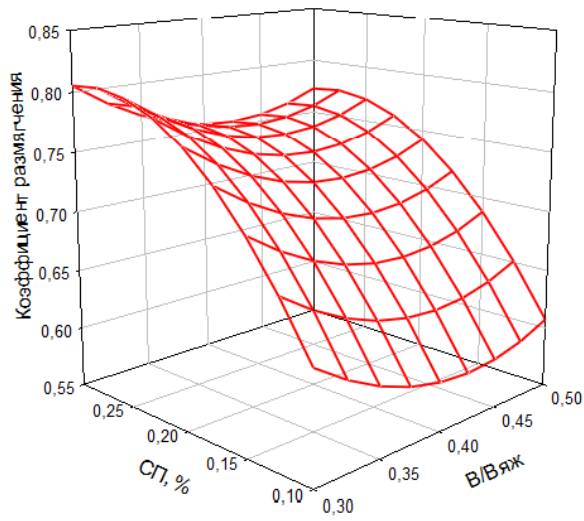


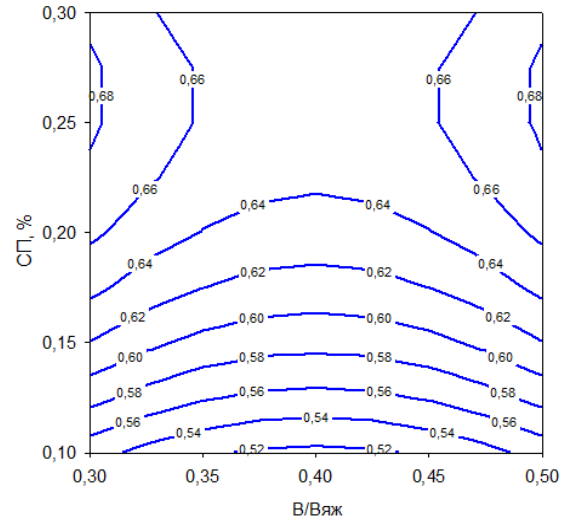
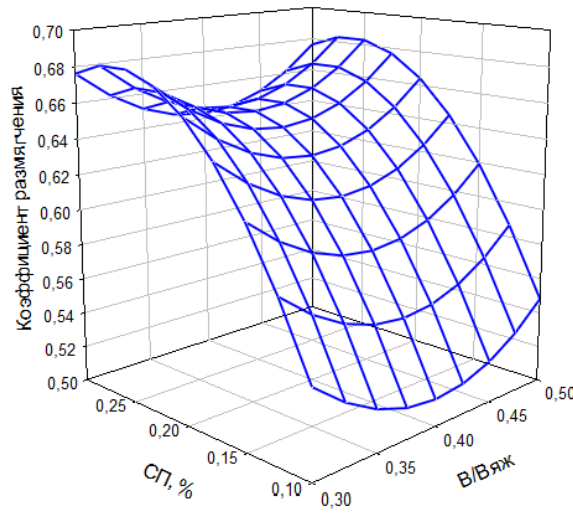
Рисунок 4.8 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяз отношения на начало схватывания (Y_2) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя:

а – 1:1; б – 1:2; в – 1:3.

а



б



в

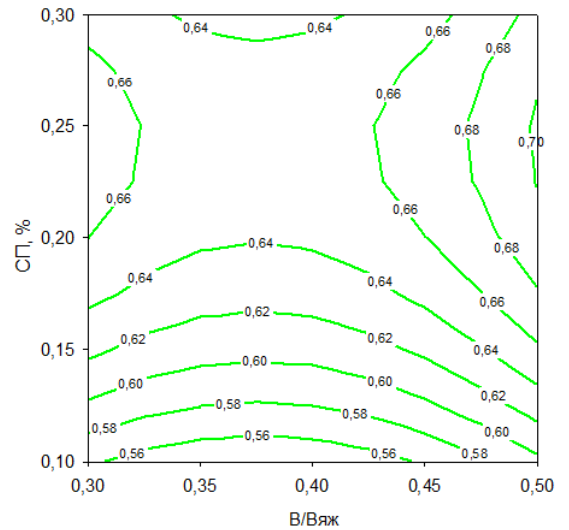
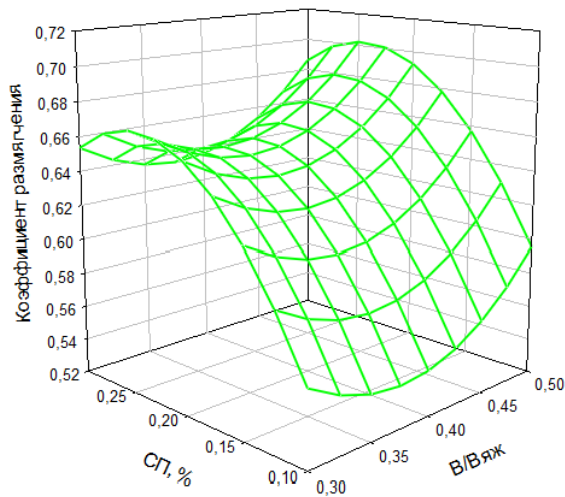
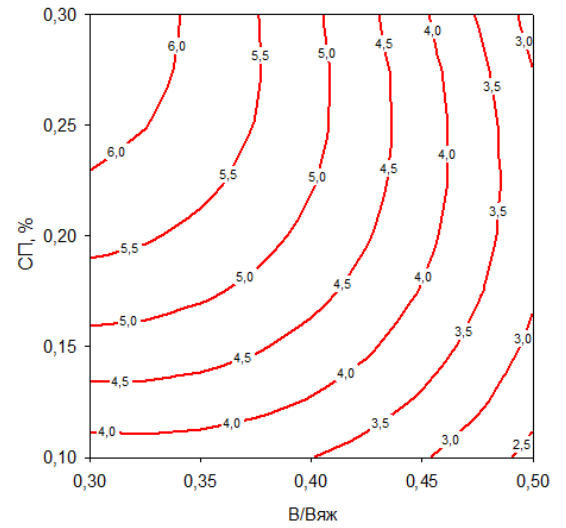
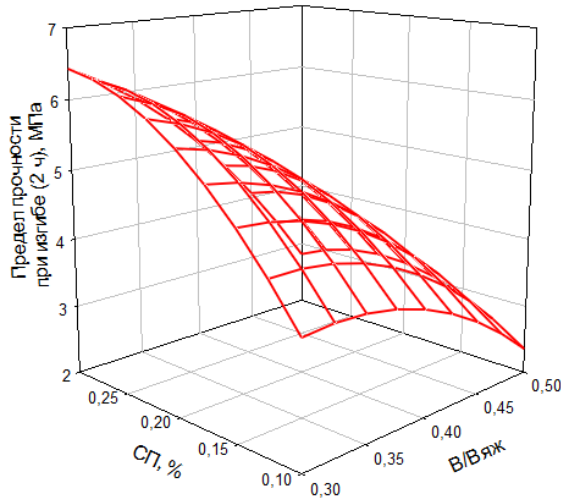
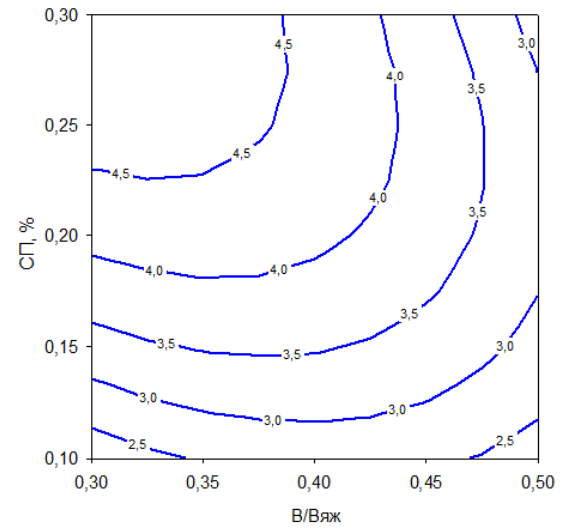
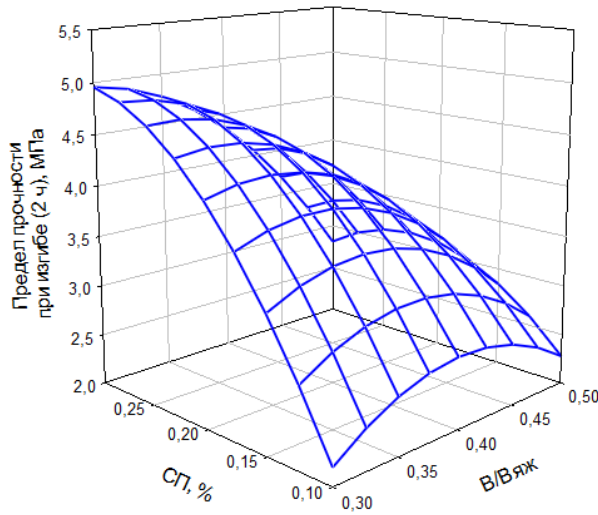


Рисунок 4.9 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяз отношения на коэффициент размягчения (U_3) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя: а – 1:1; б – 1:2; в – 1:3.

а



б



в

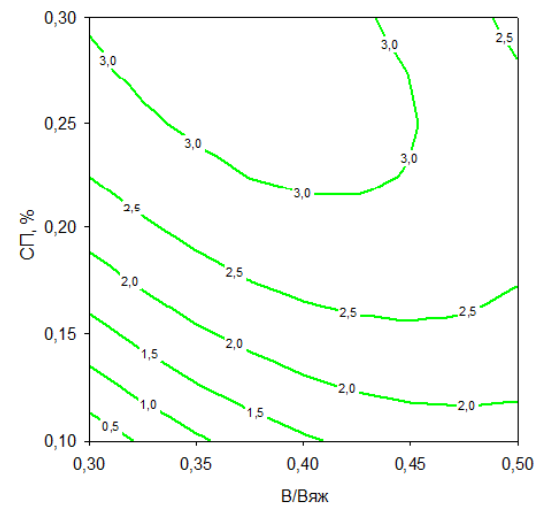
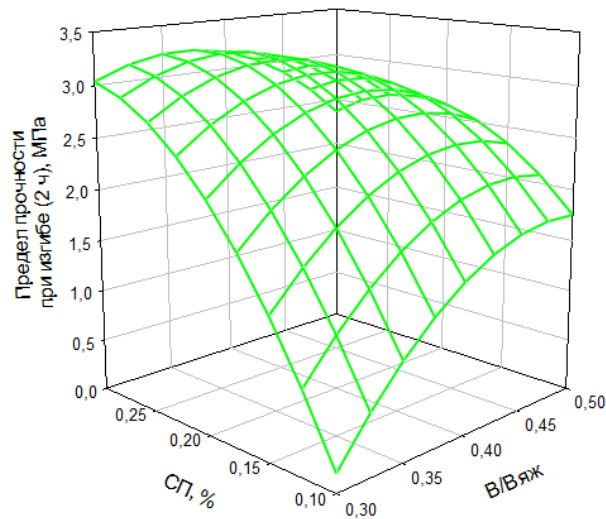
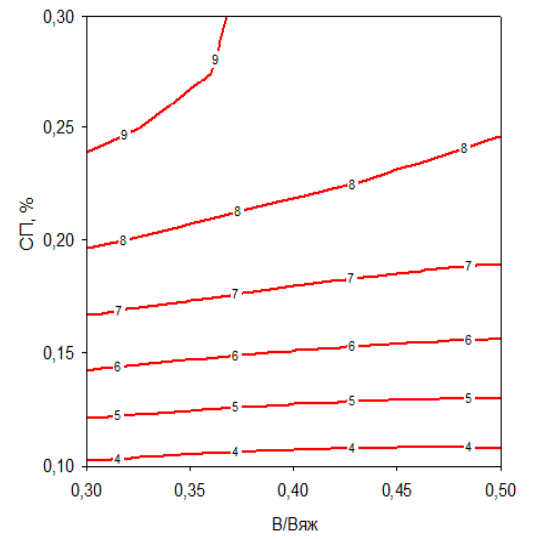
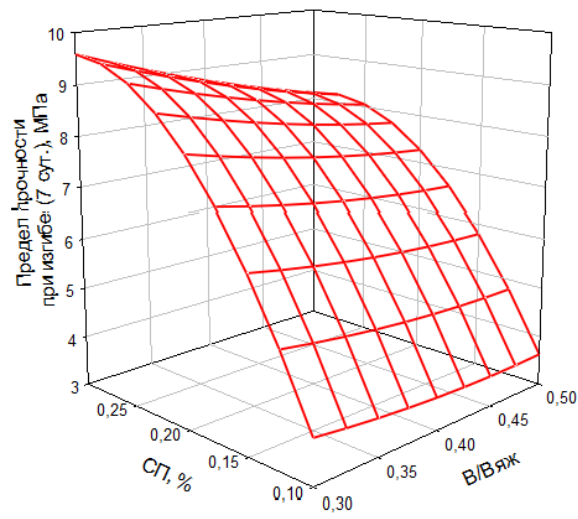
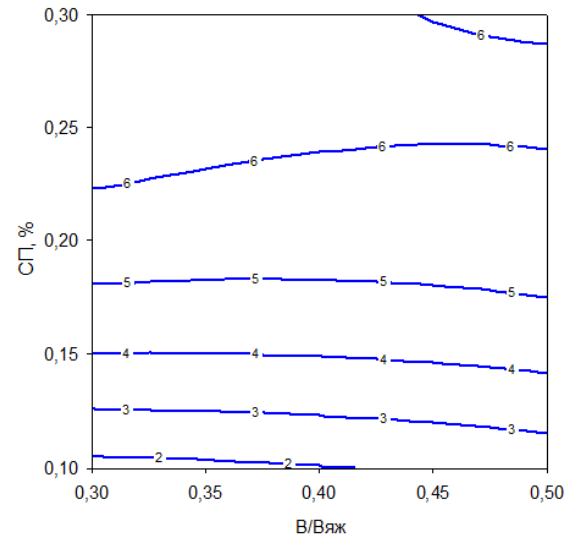
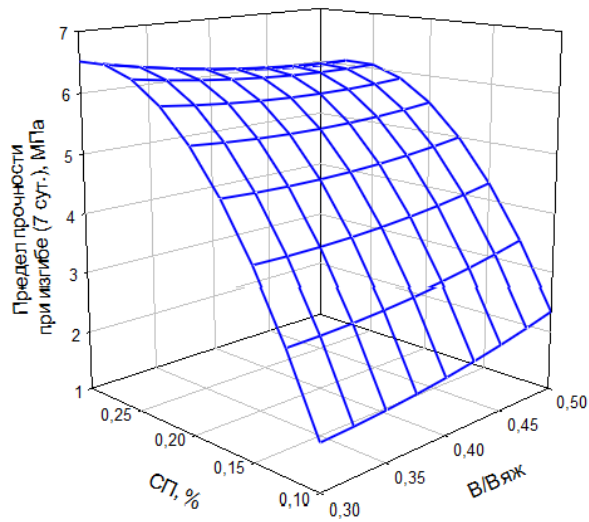


Рисунок 4.10 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяз отношения на предел прочности при изгибе (2 час) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя: а – 1:1; б – 1:2; в – 1:3.

А



Б



В

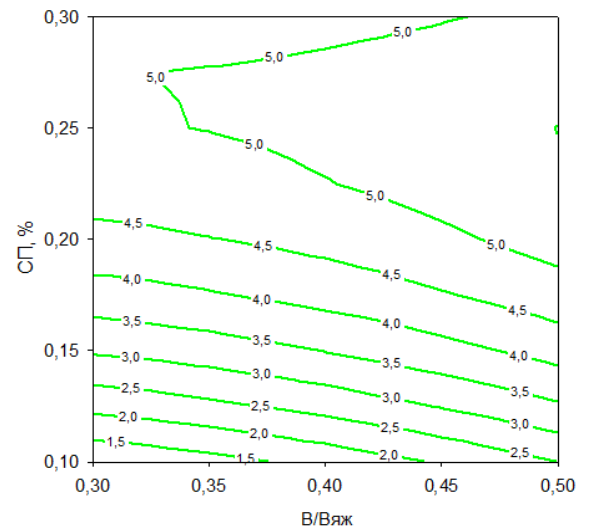
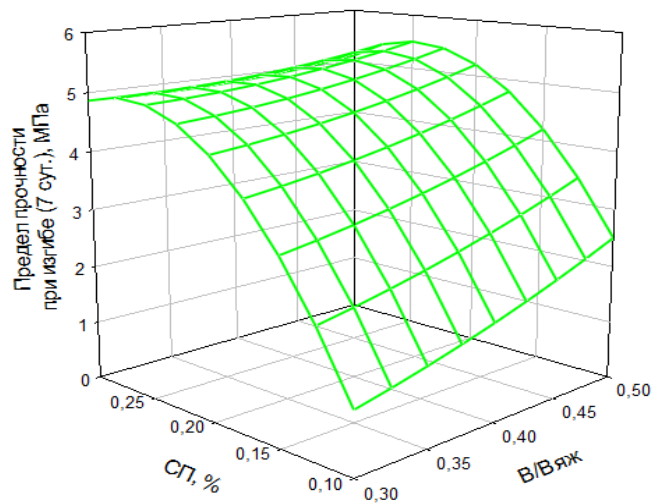
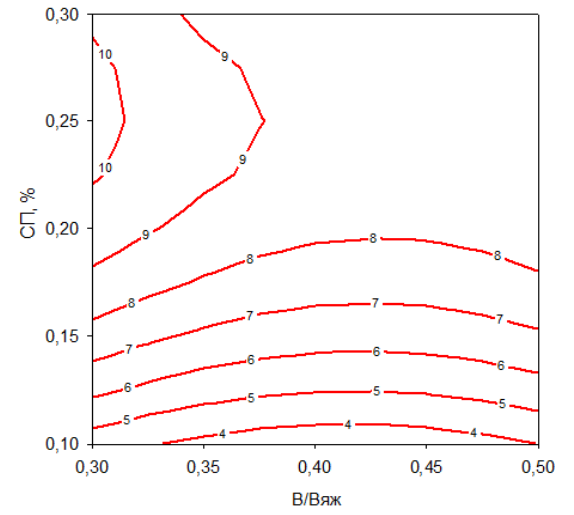
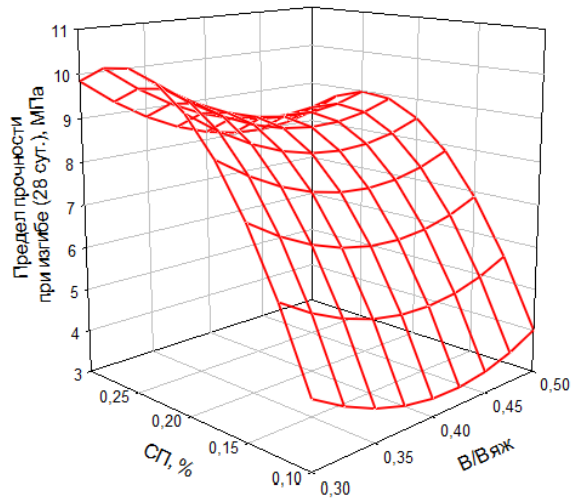


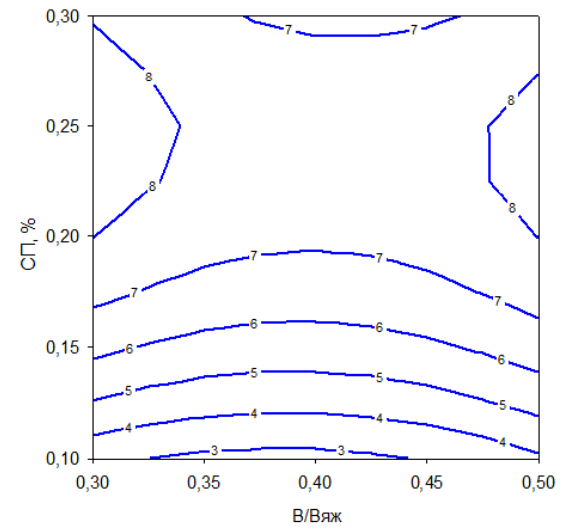
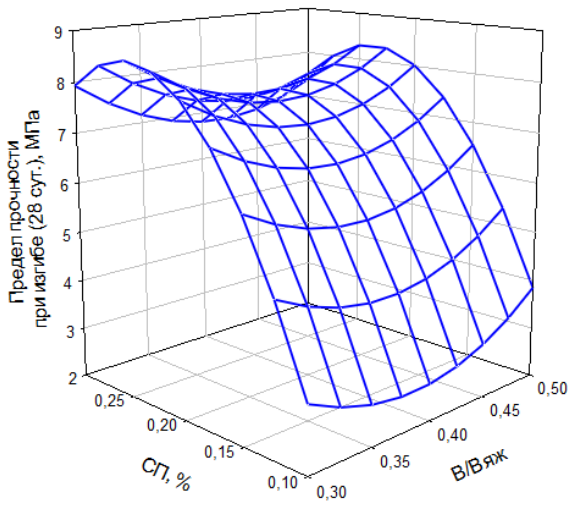
Рисунок 4.11 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяж отношения на предел прочности при изгибе (7 сут) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя:

$a - 1:1$; $b - 1:2$; $b - 1:3$.

А



Б



В

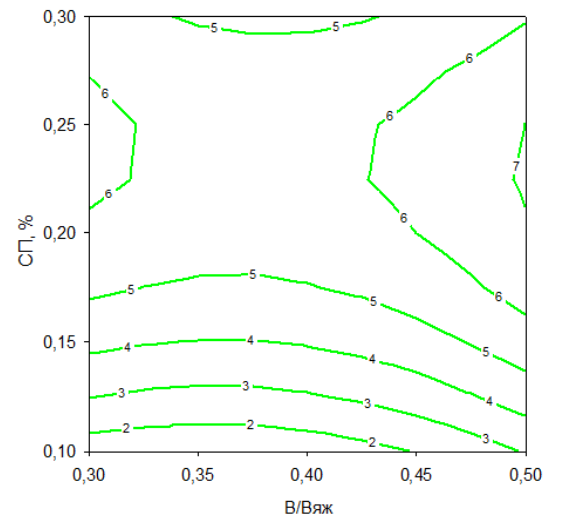
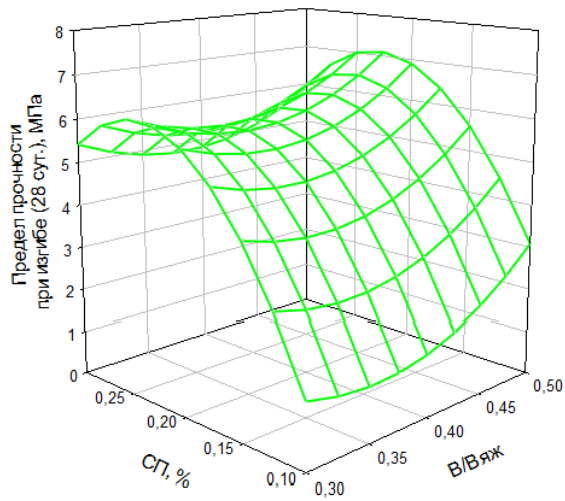
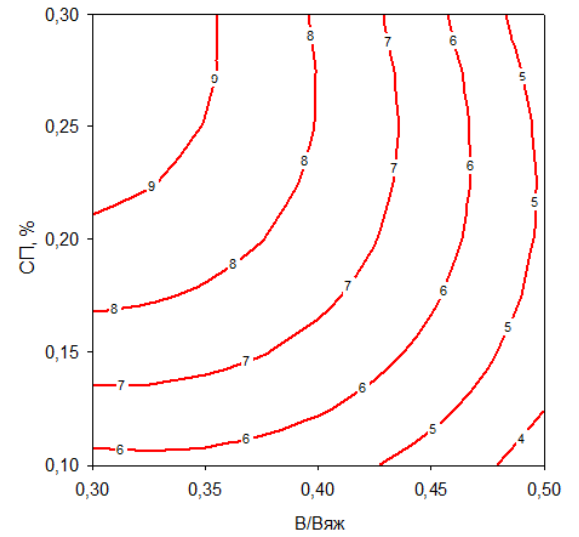
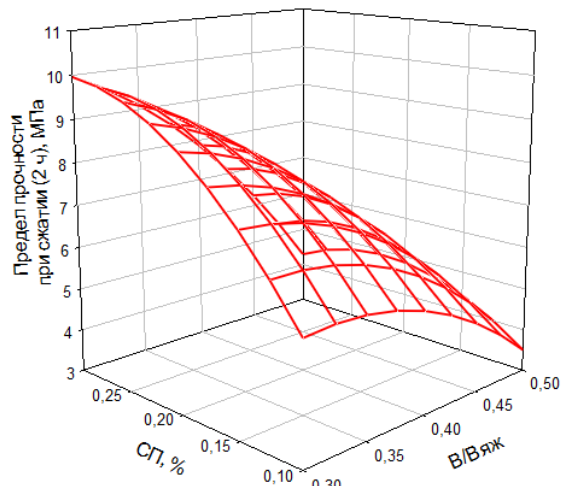
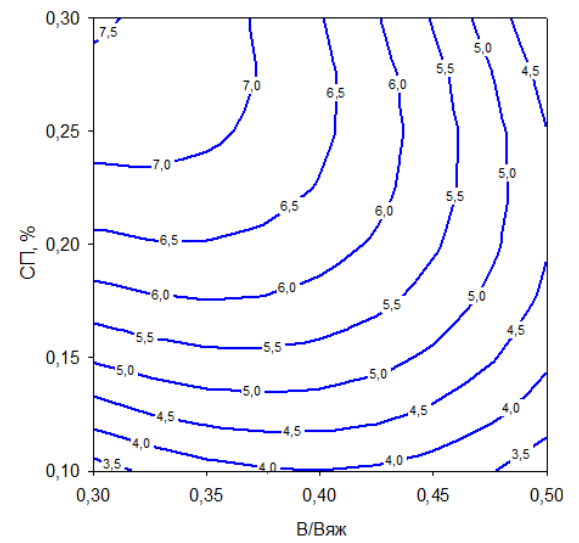
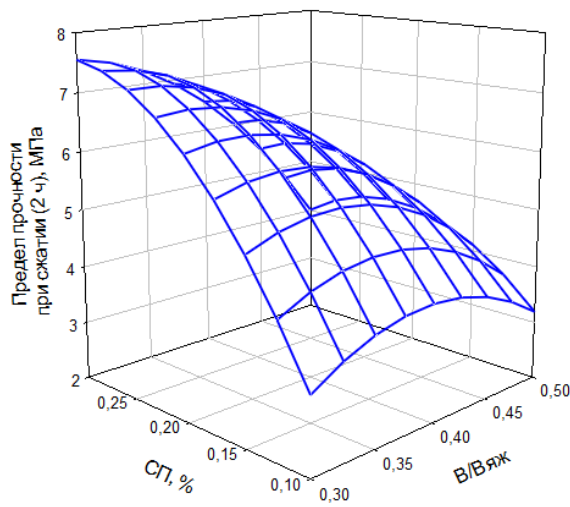


Рисунок 4.12 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяж отношения на предел прочности при изгибе (28 сут) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя: *a* – 1:1; *б* – 1:2; *в* – 1:3.

А



Б



В

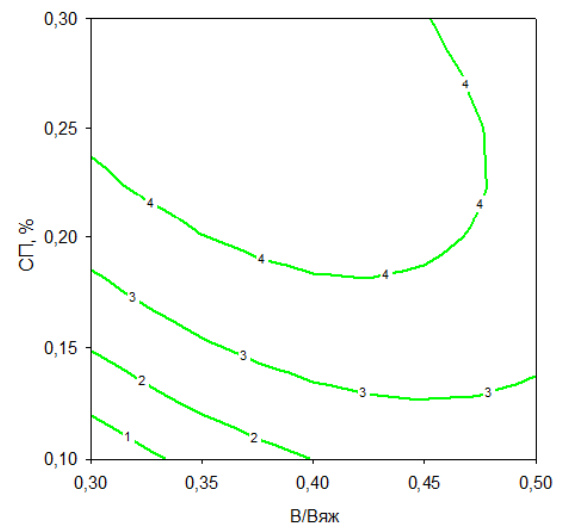
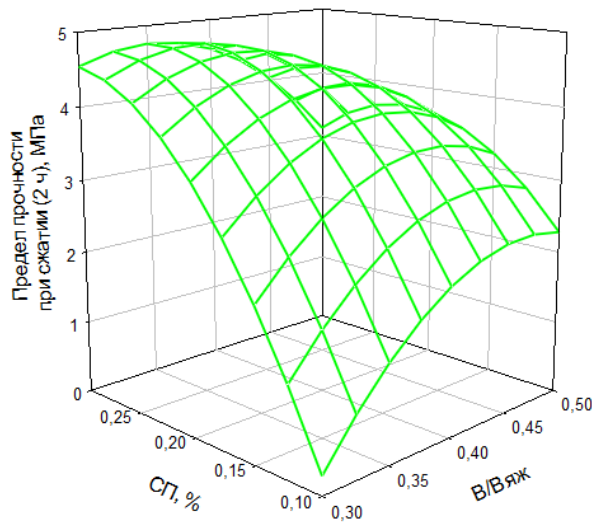
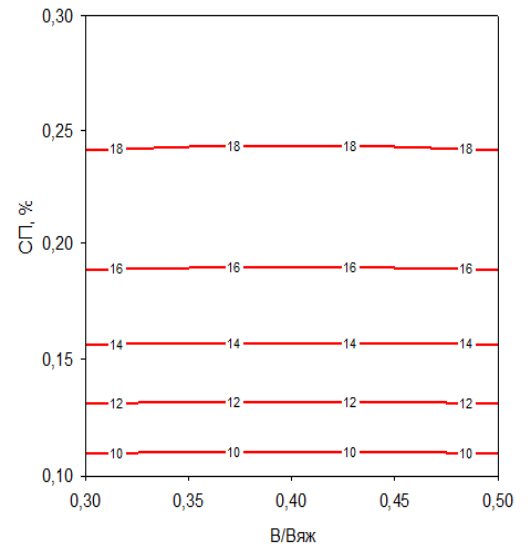
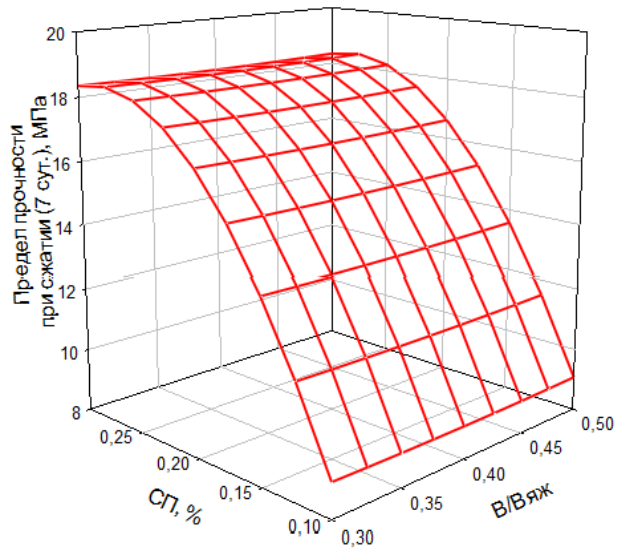
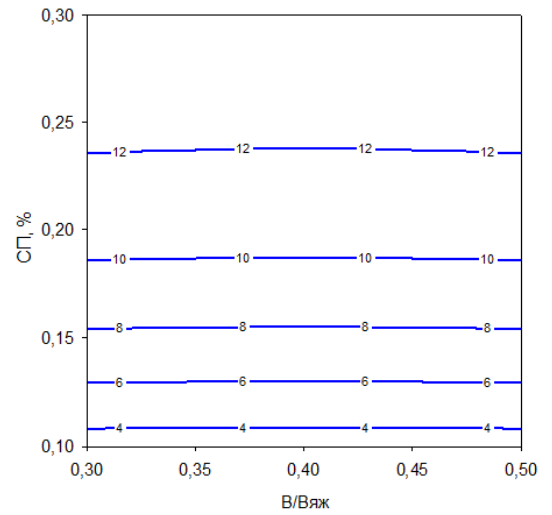
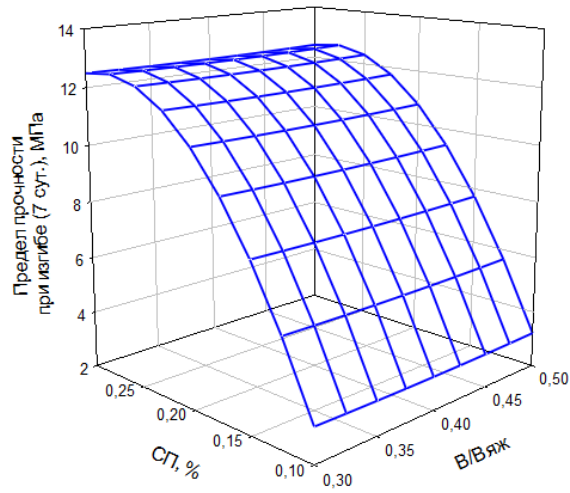


Рисунок 4.13 – Влияние количества суперпластификатора и $В/Вяз$ отношения на предел прочности при сжатии (2 час) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя: a – 1:1; b – 1:2; $в$ – 1:3.

А



Б



В

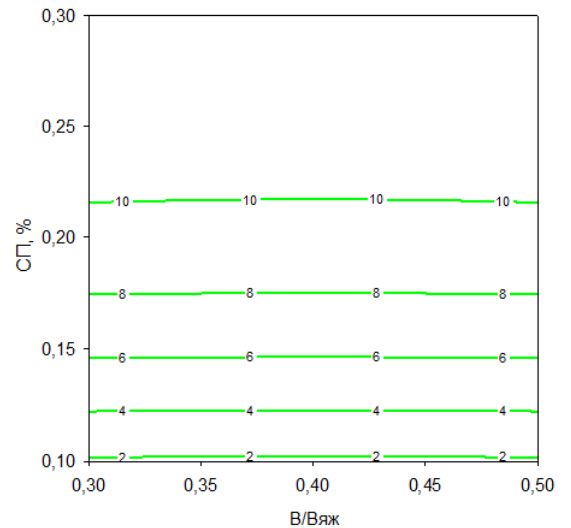
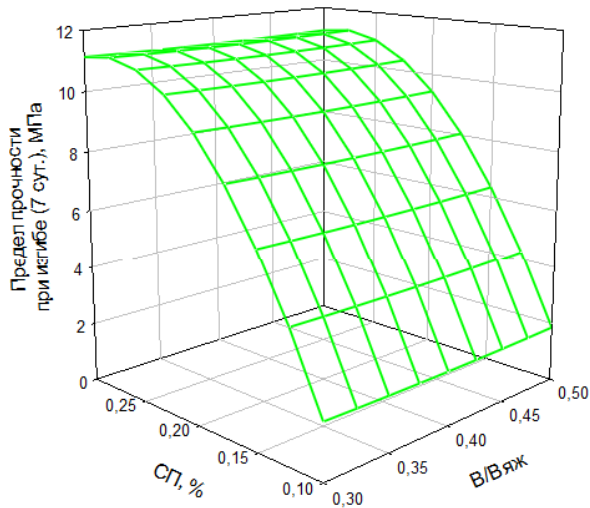
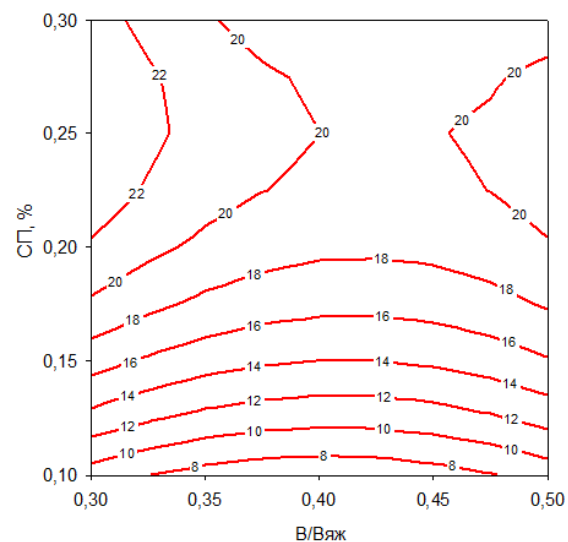
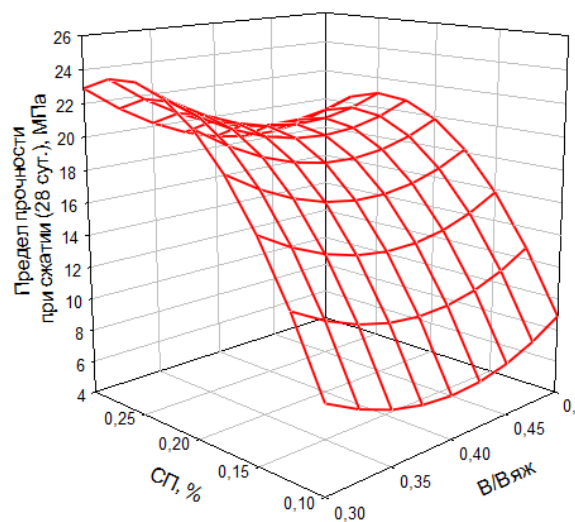
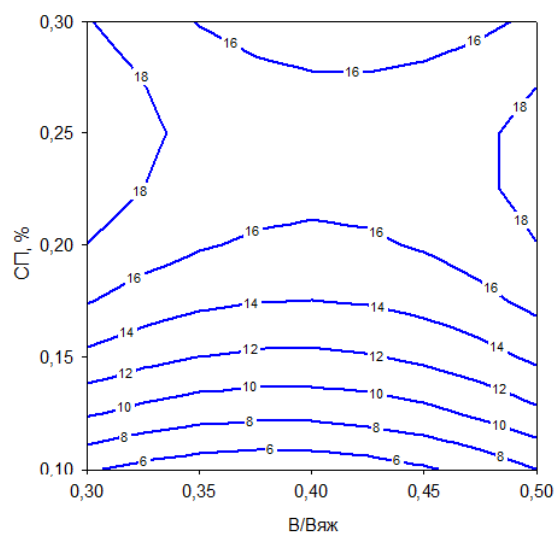
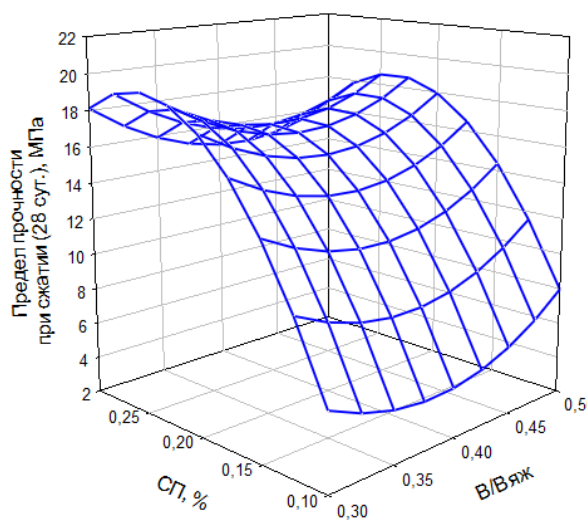


Рисунок 4.14 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяз отношения на предел прочности при сжатии (7 сут) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя: а – 1:1; б – 1:2; в – 1:3.

а



б



в

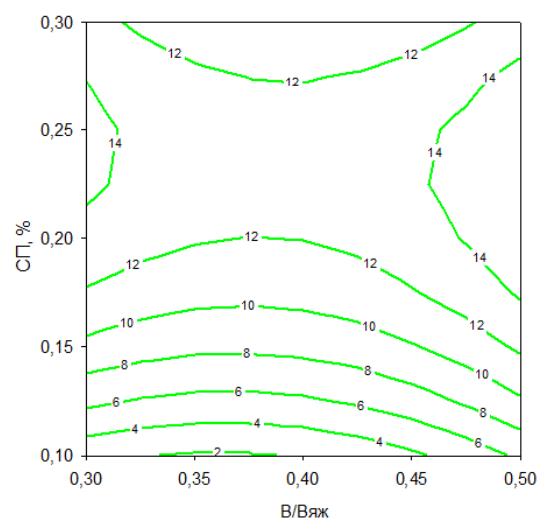
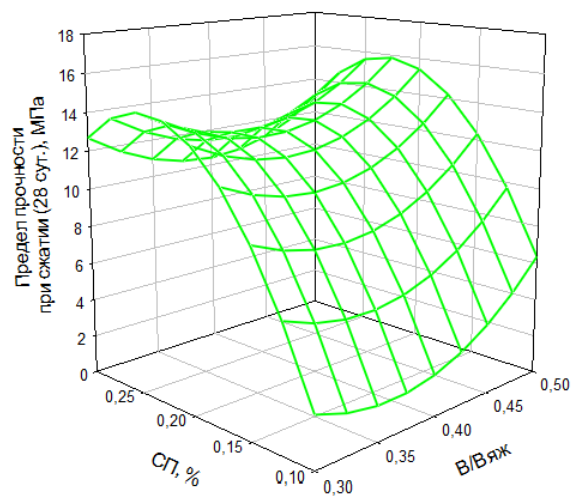


Рисунок 4.15 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяз отношения на предел прочности при сжатии (28 сут) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя: а – 1:1; б – 1:2; в – 1:3.

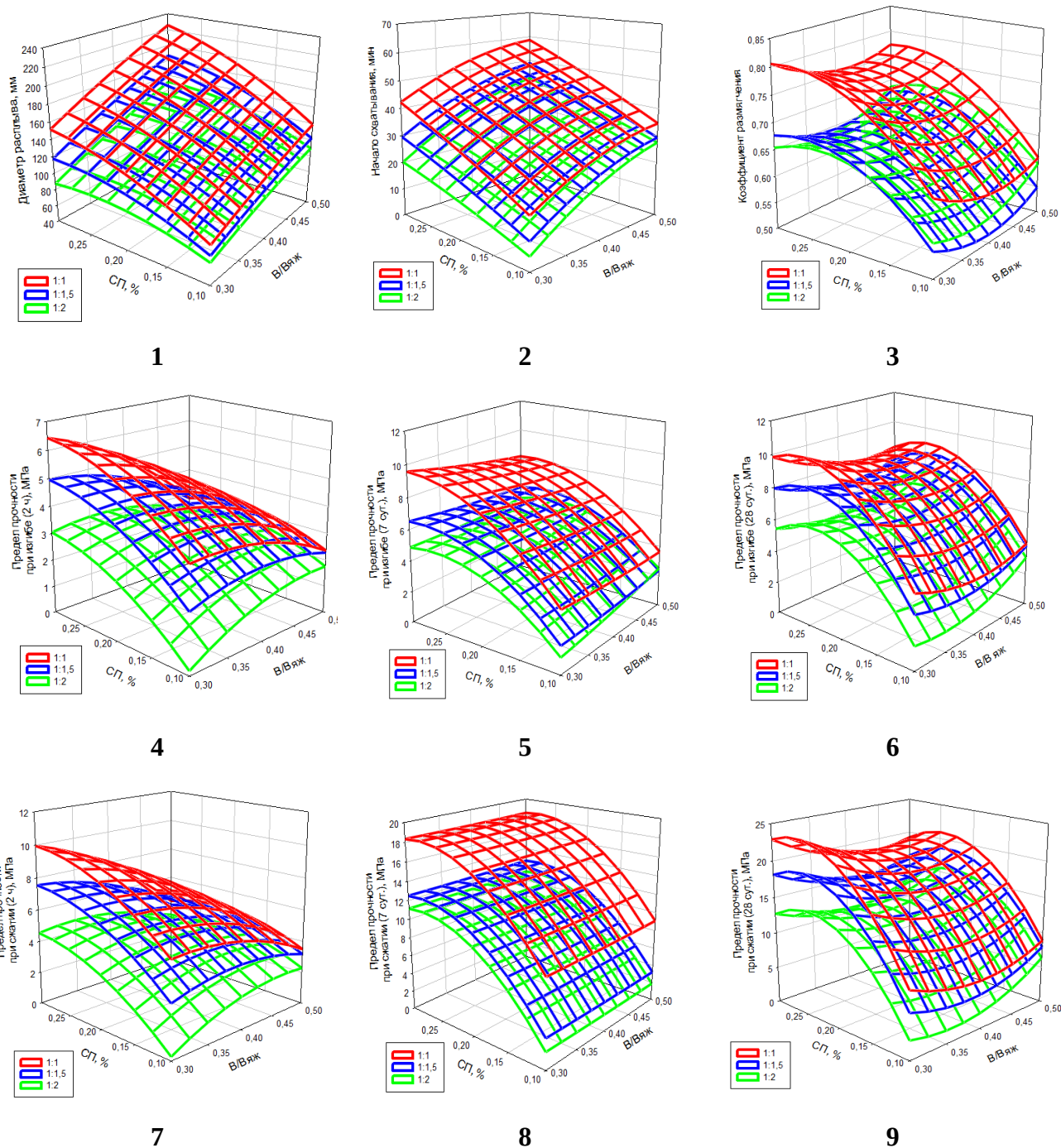


Рисунок 4.16 – Влияние количества суперпластификатора и В/Вяж отношения на: подвижность (1); начало схватывания (2); коэффициент размягчения (3); предел прочности при изгибе, 2 час (4); предел прочности при изгибе, 7 сут (5); предел прочности при изгибе, 28 сут (6); предел прочности при сжатии, 2 час (7); предел прочности при сжатии, 7 сут (8); предел прочности при сжатии, 28 сут (9) штукатурного раствора на КГВ в зависимости от доли заполнителя: a – 1:1; b – 1:2; c – 1:3.

В результате анализа уравнений и графиков, демонстрирующих влияние факторов варьирования следует отметить, что в изучаемой области варьирования X_1 , X_2 и X_3 с увеличением доли заполнителя в составе штукатурного раствора на КГВ подвижность снижается, а при увеличении В/Вяз отношения и количества суперпластификатора Mellflux 5581 F наблюдается ее повышение.

Максимальное значение подвижности достигается при $X_2 = +1$; $X_3 = +1$.

На начало схватывания штукатурного раствора на КГВ наибольшее влияние оказывает суперпластификатор и В/Вяз отношений. С увеличением их количества время начала схватывания увеличивается. С увеличением доли заполнителя начало схватывания уменьшается. Максимальное значение начала схватывания достигается при $X_2 = +1$; $X_3 = +1$.

С увеличением доли заполнителя коэффициент размягчения затвердевшего штукатурного раствора на КГВ в 7-ми суточном возрасте уменьшается, В/Вяз отношение не оказывает влияния, а суперпластификатор Mellflux 5581 F – влияет не значительно. Максимальное значение коэффициента размягчения достигается при $X_1 = -1$; $X_3 = +1$.

Пределы прочности при изгибе и при сжатии твердеющих в течение 2 час образцов с увеличением количества суперпластификатора Mellflux 5581 F повышаются, а с увеличением В/Вяз отношения и доли заполнителя – снижаются.

Пределы прочности при изгибе и при сжатии твердеющих 7 сут и 28 сут образцов с увеличением доли заполнителя снижаются, с увеличением количества суперпластификатора Mellflux 5581 F – повышаются, а В/Вяз отношение влияния не оказывает.

Таким образом, применение экспериментально-статистических моделей позволило определить рациональные дозировки компонентов штукатурного раствора на основе КГВ и его состав для производства с повышенными эксплуатационными качествами. Выявленные закономерности изменения их свойств и полученные математические зависимости позволяют оценить влияние каждого фактора с качественной и количественной стороны, и могут быть использованы для прогнозирования рецептур.

4.3 Оценка жизнеспособности штукатурного раствора на КГВ

Для эффективного управления процессом получения штукатурных растворов на основе КГВ с комплексом минеральных и химических добавок необходимо изучение закономерностей формирования их структурообразования от момента взаимодействия твердого тела и жидкости до завершения фазовых переходов в твердеющей системе [132-137].

Конечная прочность затвердевшего штукатурного раствора во многом зависит от прочности на начальном этапе структурообразования, в ходе которого с момента смешения раствора с водой происходит постепенное изменение характера связей между дисперсными фазами в вяжущем и твердеющей системе, в основном структура коагуляция с частью кристаллизации. В результате возможны механические воздействия на гипсоцементный раствор, не вызывающие снижения его прочности. Этот период называется «жизнеспособностью» системы и, совпадая по времени с индукционным периодом формирования структуры, является важной технологической характеристикой материала.

В диссертационной работе определение жизнеспособности штукатурного раствора на основе КГВ осуществляли с помощью конического пластометра типа КП-3. В таблице 4.12 представлены исследуемые составы штукатурных растворов на основе КГВ с суперпластификаторами Mapf SU 84 и Melflux 5581 F, с замедлителем сроков схватывания Plast Retard PE и стабилизатором Mapf Forbo-Crete S 010.

Расчет пластической прочности во времени производили по формуле:

$$P_k = K\alpha (m a) / h^2 \quad 4.11$$

где P_k – пластическая прочность;

a – гравитационное ускорение земли ($a=9,8\text{м/с}^2$);

$K\alpha$ – коэффициент, для конуса с углом $\alpha=30^\circ$ равен 0,110.

Таблица 4.12– Исследуемые составы штукатурных растворов на КГВ

№ состава	В/Вяз	Замедлитель Plast Retard PE	Суперпластификатор		Стабилизатор Mapf Forbo-Crete S 010
			Mapf SU 84	Melflux 5581 F	
1	0.64	0.08	-	-	-
2	0.49	0.08	0.2	-	-
3	0.57	0.08	0.2	-	0.1
4	0.49	0.08	-	0.2	-
5	0.57	0.08	-	0.2	0.1

Примечание: соотношение КГВ:заполнитель – 1:2.

Время, которое характеризует период структурообразования штукатурного раствора на КГВ принималось за его «жизнеспособность».

В таблице 4.13 и на рисунке 4.17 этот период отображается кривой изменения пластической прочности R_k в зависимости от времени T . На пластограммах некоторое время наблюдаются сплошные участки, соответствующие формированию структуры, а затем кривые пластической прочности сильно поднимаются вверх, что объясняется формированием кристаллизационной структуры твердеющего гипсового раствора на КГВ. Начало повышения температуры, зависящее от вида вводимой добавки, соответствует началу повышения пластической прочности гипсовых штукатурных растворов на КГВ и совпадает с началом схватывания КГВ паст.

У состава №1 (без добавки суперпластификаторов) при постоянной дозировке замедлителя Plast Retard PE (0,08 %, от массы КГВ) индукционный период начинается через 9 минут и затухает (конец индукционного периода) через 24 минуты.

Это соответствует началу схватывания, а затем постепенно растворная смесь теряет подвижность («жизнеспособность») и через 36 минут наступает конец схватывания (состав №1, таблица 4.13, рисунок 4.17, 1). Значение пластической прочности соответствует 208 кПа.

Таблица 4.13 – Характеристики пластической прочности штукатурных растворов
на КГВ

№ состава	Время, мин	h, м	m, кг	Рк, Па	Рк, кПа
1	0	-	0,375	-	-
	9	0,0042	0,375	23214	23
	15	0,0041	0,375	24244	24
	20	0,0041	0,375	24483	25
	25	0,0027	0,375	55087	55
	30	0,0026	0,375	58921	59
	35	0,0014	0,375	204998	205
	36	0,0014	0,375	207937	208
2	0	-	0,375	-	-
	9	0,0046	0,375	19260	20
	15	0,0040	0,375	25472	26
	20	0,0037	0,375	30424	30
	25	0,0036	0,375	31273	31
	30	0,0024	0,375	68455	69
	35	0,0022	0,375	84206	84
	36	0,0009	0,375	451587	452
3	0	-	0,375	-	-
	9	0,0039	0,375	25728	26
	15	0,0014	0,375	207937	208
	20	0,0014	0,375	210940	212
	25	0,0014	0,375	223625	224
	30	0,0013	0,375	226975	227
	35	0,0013	0,375	230401	230
	36	0,0012	0,375	260836	261
	40	0,0012	0,375	269388	269
	45	0,0004	0,375	2424494	2424
4	0	-	0,375	-	-
	9	0,0039	0,375	25600	25
	15	0,0039	0,375	25728	26
	20	0,0033	0,375	38348	38
	25	0,0030	0,375	44100	44
	30	0,0014	0,375	217144	217
	35	0,0013	0,375	237490	237
	36	0,0013	0,375	241158	241
5	0	-	0,375	-	-
	9	0,0039	0,375	26254	26
	15	0,0013	0,375	252686	252
	20	0,0012	0,375	260836	260
	25	0,0012	0,375	265060	265
	30	0,0012	0,375	269388	269
	35	0,0011	0,375	336824	336
	40	0,0010	0,375	391731	391
	45	0,0003	0,375	3523360	3523

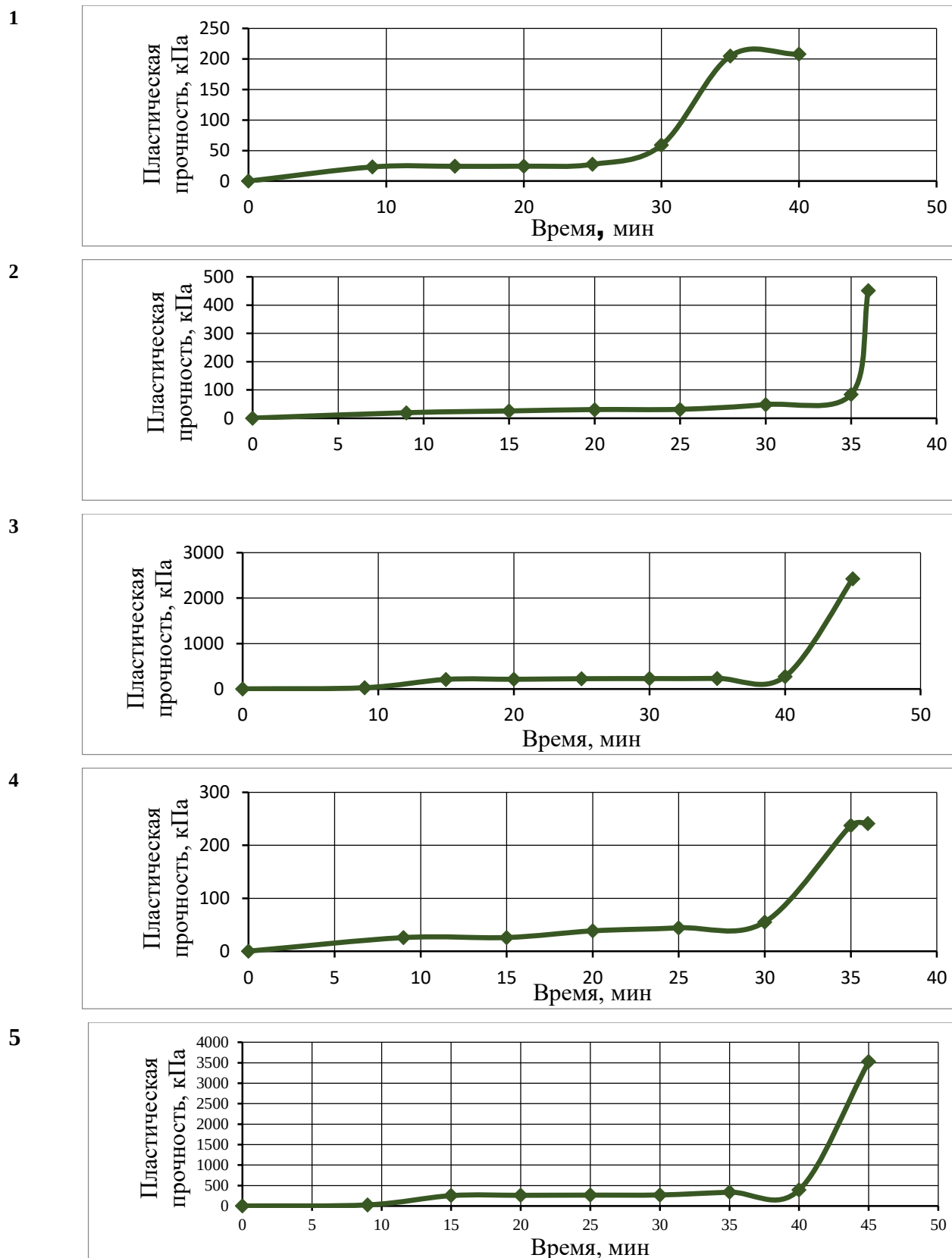


Рисунок 4.17 – Изменение пластической прочности штукатурных растворов на КГВ в зависимости от вида химической добавки

При введении в состав штукатурной смеси 0,2 % суперпластификатора Mapf SU 84 (состав №2, таблица 4.13, рисунок 4.17, 2) при постоянной дозировке замедлителя Plast Retard PE (0,08 %, от массы КГВ) происходит удлинение индукционного периода с 9 мин до 25 минут, начало схватывания и процесс гидратация замедляются, что, по мнению авторов [82], обусловлено в основном седиментацией и агрегацией частиц КГВ и слабым дисперсионным взаимодействием молекул добавки. Значение пластической прочности соответствует 452 кПа.

В составе №3 при добавлении 0.1% стабилизатора Mapf Forbo-Crete S 010 совместно с 0.2 % суперпластификатора Mapf SU 84 при постоянной дозировке замедлителя Plast Retard PE (0.08 %, от массы КГВ), по сравнению с предыдущим составом, начало схватывания наступает через 40 минут.

Введение в смесь стабилизатора увеличивает коагуляционную способность почти в 4 раза (с 50 кПа до 200 кПа и более). Значения пластической прочности соответствуют 2424 кПа.

Введение в состав штукатурного раствора на КГВ суперпластификатора Melflux 5581 F (0,2 %, от массы КГВ) при постоянной дозировке замедлителя Plast Retard PE (0.08 %, от массы КГВ) практически не замедляет его начало схватывания и составляет 30 минут, как и у состава №1 без суперпластификатора

Значения пластической прочности соответствуют 241 кПа, не значительно отличаются от показаний состава №1 (208 кПа.).

В 5-ом составе штукатурного раствора на КГВ дополнительно к суперпластификатору Melflux 5581 F (0,2 %, от массы КГВ) при постоянной дозировке замедлителя Plast Retard PE (0.08 %, от массы КГВ) был добавлен стабилизатор Mapf Forbo Crete S010 (0,1 %, от массы КГВ). Его индукционный период находится в интервале от 15 до 40 минут (наступает начало схватывания), а через 45 минут — конец схватывания. Значения пластической прочности соответствуют 3523 кПа.

Таким образом установлено, что при сохранении высокого пластифицирующего эффекта суперпластификатора Melflux 5581 F (0,2% от массы

КГВ), при оптимальной дозировке замедлителя сроков схватывания Plast Retard PE (0.08 %, от массы КГВ) и стабилизатора Mapf Forbo Crete S 010 (0,1%, от воды затворения), период формирования структуры удлиняется до 45 минут, что позволяет регулировать реологические свойства штукатурных растворов на начальном этапе с последующим повышением сопротивления и прочности на сжатие с 208 кПа до 3523 кПа, т. е в 17 раз. Это соответствует требованиям ГОСТ Р 58279-2018 по «жизнеспособности» штукатурного раствора (30 мин – при ручном нанесении, 45 мин – при машинном нанесении).

Полученные результаты подтверждаются механическими испытаниями затвердевших штукатурных растворов на КГВ того же состава.

4.4 Реологические свойства штукатурного раствора на КГВ

В диссертационной работе были проведены исследования, основной задачей которых являлось изучение реологических свойств штукатурных растворов на основе КГВ с комплексом минеральных и химических добавок и заполнителем из песка песчаных дюн, обогащенного песчаной фракцией отсева дробления известняка, проводили при постоянной подвижности раствора, равной 150 мм.

Контрольным являлся штукатурный раствор без суперпластификатора. Реологические свойства штукатурных растворов на КГВ изучали с помощью ротационного вискозиметра «RHEOTEST RN 4.1

Составы исследуемых штукатурных растворов – согласно таблицы 4.12. Реологические зависимости представлены на рисунках 4.26 – 4.27.

На реограмме контрольного состава штукатурного раствора на КГВ в координатах «напряжение сдвига - градиент сдвига» виден ярко выраженный пик в начальной области, что свидетельствует об увеличении предельного напряжения, при котором начинается течение растворной смеси (рисунок 4.18, 1).

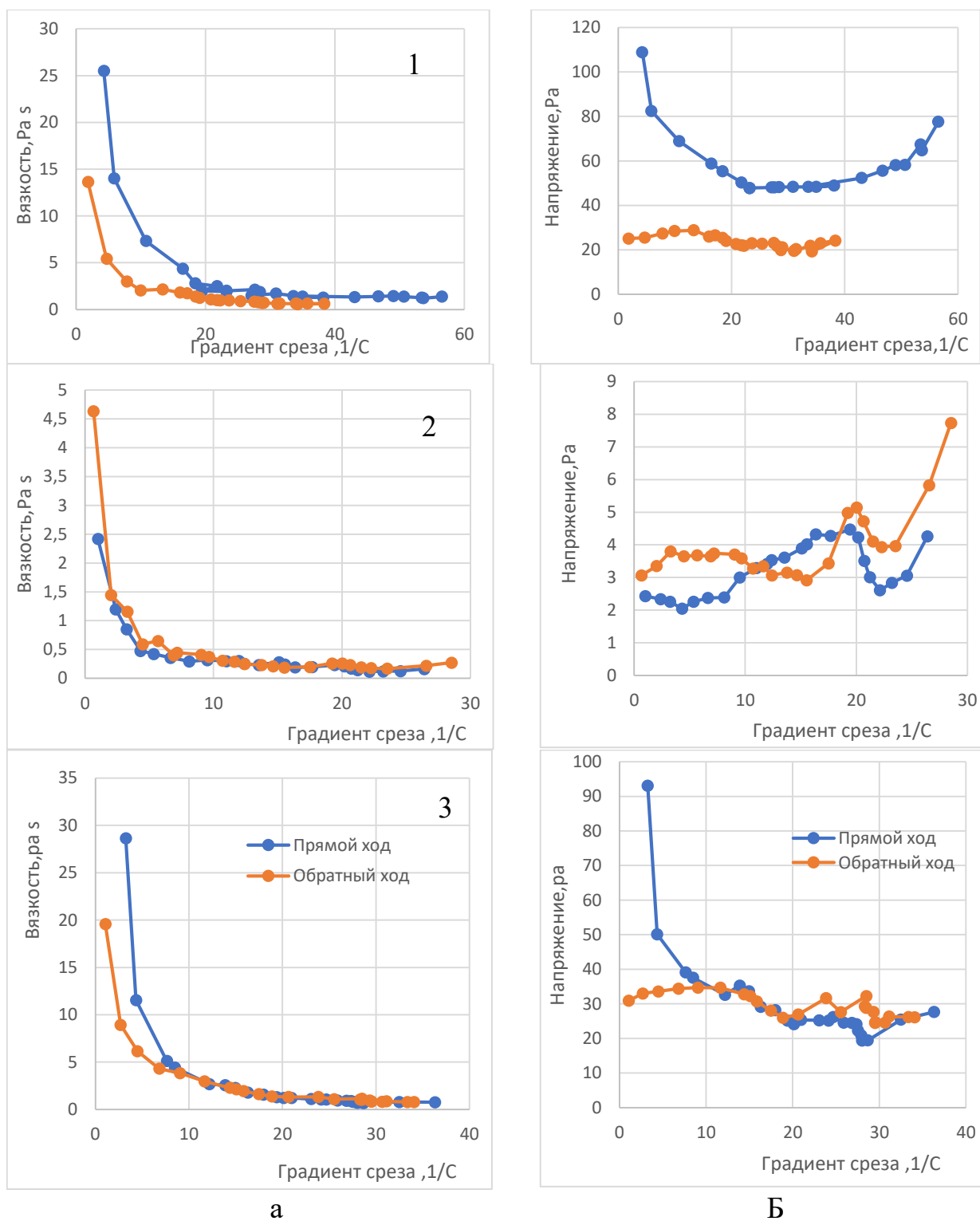


Рисунок 4.18 – Реограммы штукатурного раствора на КГВ (1:2)

а) зависимость эффективной вязкости от градиента скорости сдвига

б) зависимость напряжения сдвига от градиента скорости сдвига

1 – КГВ+ Plast Retard PE (0.08 %)

2 – КГВ+ Plast Retard PE (0.08 %)+ СП Mapf SU 84 (0,2%)

3 – КГВ+ Plast Retard PE (0.08 %) +С ПMapf SU 84 + Mapf Forbo-Crete S 010 (0,1%)

При введении суперпластификатора Mapf SU 84 (0,2 %, от массы КГВ) в штукатурную смесь (рисунок 4.18, 2) значения вязкости и предельного напряжения сдвига снижаются (в 11 и 44 раза, соответственно), по сравнению с показателями без добавочного состава.

При дополнительном введении в штукатурную смесь совместно с суперпластификатором Mapf SU 84 (0,2 %, от массы КГВ) стабилизатора MAPF Forbo-Crete S 010 (0,1%, от массы КГВ) вязкость штукатурной смеси повышается с 26 Па ·с до 28,62 Па ·с, а предельное напряжение сдвига несколько снижается – с 110 Па до 93,09 Па. На обратной ветви реограммы наблюдается снижение вязкости до 19,57 Па·с при показателе напряжения сдвига 30,9 Па (рисунок 4.18, 3).

При добавлении в штукатурную смесь суперпластификатора Melflux 5581 F (0,2 % от массы КГВ) наблюдается наименьшая вязкость (4,7 Па ·с) и предел прочности при сдвиге (3 Па).

При снятии внешних воздействий данный состав восстанавливает свою структуру. Обратная ветвь реограммы (рисунок 4.19, 4) имеет достаточно высокую степень структурированности, что создает предпосылки для повышения прочности.

При дополнительном введении стабилизатора MAPF Forbo-Crete S 010 (0,1 % от массы КГВ) в штукатурную смесь с суперпластификатором Melflux 5581 F (0,2 % от массы КГВ) по сравнению с контрольным составом наблюдается снижение вязкости в 3,5 раза(с 26 Па ·с до 7,5 Па ·с) и снижение предельного напряжения сдвига в 22 раза (с 110 Па до 5 Па), , что способствует снижению нагрузки на электродвигатель смесителя при машинном нанесении (рисунок 4.19, 5).

При снятии внешних воздействий данный состав восстанавливает свою структуру. Обратная ветвь реограммы (рисунок 4.19, 5) имеет достаточно высокую степень структурированности, что создает предпосылки для повышения прочности. То есть, наблюдается синергетический эффект от совместно

применяемых минеральных и органических добавок, который превышает действия каждой из них.

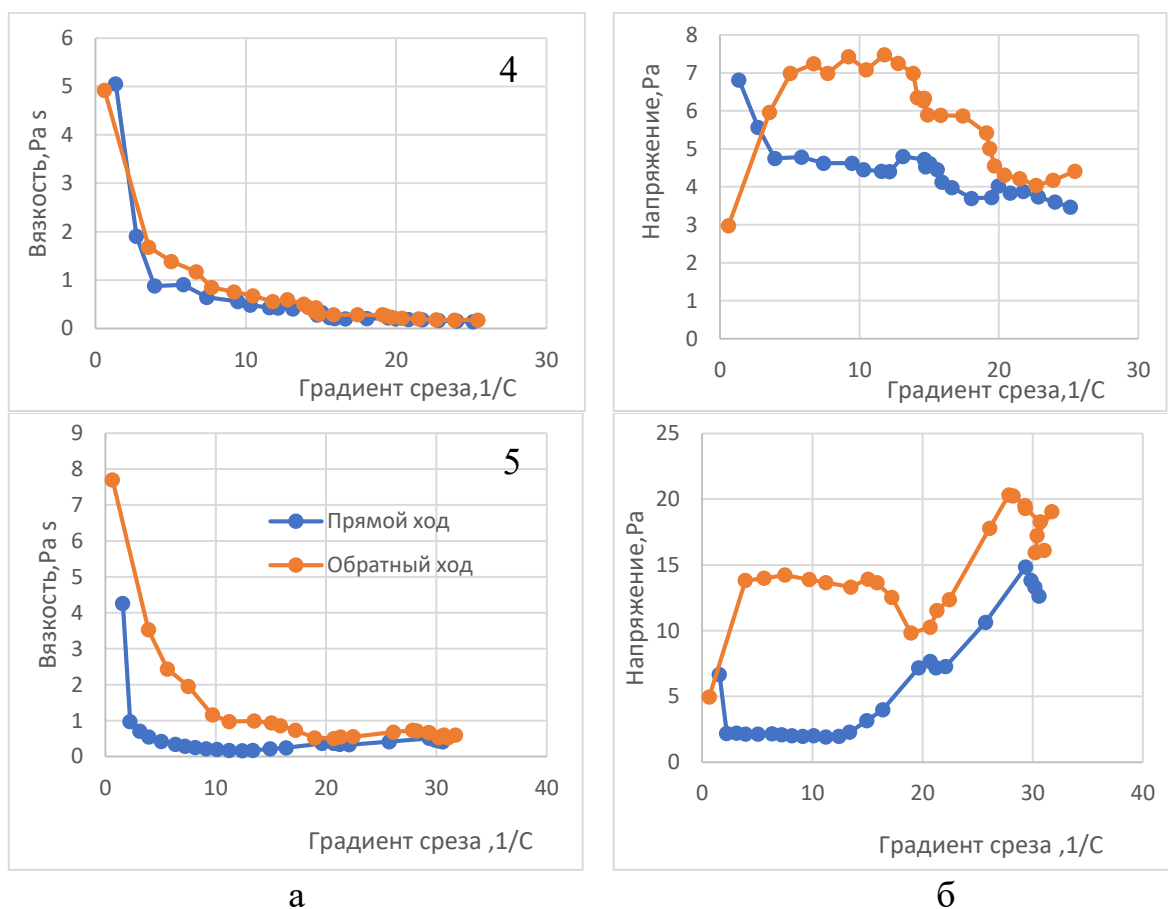


Рисунок 4.19 – Реограммы штукатурного раствора на КГВ (1:2)

а) зависимость эффективной вязкости от градиента скорости сдвига

б) зависимость напряжения сдвига от градиента скорости сдвига

4 – КГВ+ Plast Retard PE (0.08 %)+СП Melflux 5581 F (0,2%)

5 – КГВ+ Plast Retard PE (0.08 %)+СП Melflux 5581 F (0,2%)+ Mapf Forbo-Crete S 010 (0,1%)

Не значительное отклонение между прямой и обратной ветвями реограммы свидетельствует о возможности ее восстановления, что необходимо для гипсовых растворов, применяемых в штукатурке, для быстрого закрепления на оштукатуриваемой поверхности.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность регулирования реологических свойств штукатурных растворов на КГВ комплексом минеральных и органических добавок, обеспечивающих их свойства для различных видов штукатурных работ и решаемых задач.

4.5 Оценка степени смачиваемости поверхности штукатурного раствора на КГВ

Водоотталкивающие свойства штукатурного раствора на основе КГВ необходимы при их использовании для наружной отделки фасадов зданий и сооружений. При попадании воды на поверхность штукатурного раствора может происходить смачивание либо не смачивание его поверхности (рисунок 4.20, а).

Степень смачивания [138-141] поверхности оценивается по показателю краевого угла смачивания θ (угла тэта), образованного между твердой поверхностью и касательной, проведенной к поверхности жидкости, через точку (точка А) соприкосновения трех сред – твердой, жидкой и воздушной (рисунок 4.20, б).

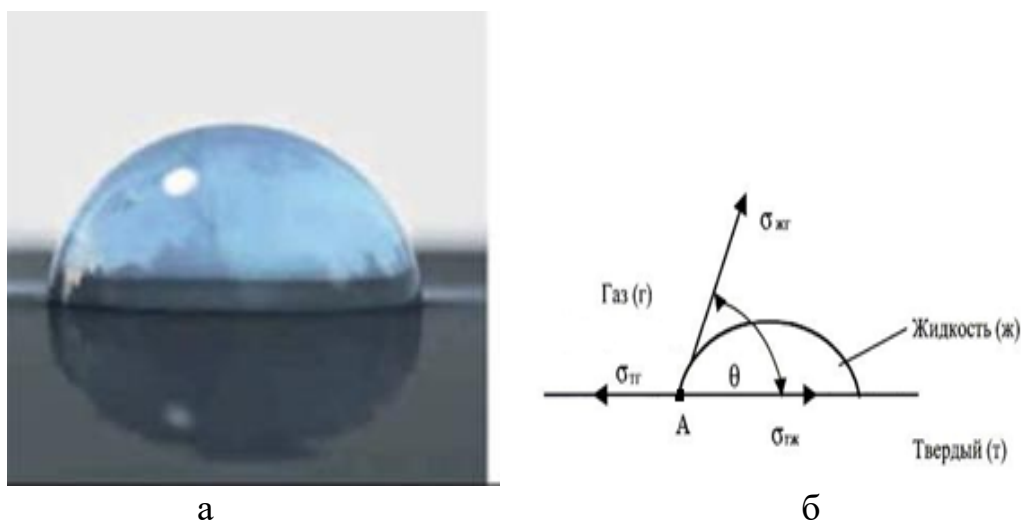


Рисунок 4.20 – Изображение капли жидкости (а); краевого угла смачивания (б)

где: $\sigma_{тж}$, $\sigma_{жг}$, $\sigma_{тг}$ – силы поверхностного натяжения между твердым телом и жидкостью, жидкостью и газом, между твердым телом и газом, соответственно.

На величину угла смачивания основное влияние оказывают адгезионные силы, выражающие степень притяжения молекул жидкости и твердого тела, а также когезионные силы, действующие на взаимное притяжение молекул воды внутри капли. От соотношения этих сил зависит степень смачиваемости поверхности,

которая может быть гидрофильной, хорошо смачиваемой водой (при полном смачивании поверхности угол равен 0 градусов) или гидрофобной (при попадании капли на поверхность угол смачивания превышает 90 градусов), рисунок 4.21.

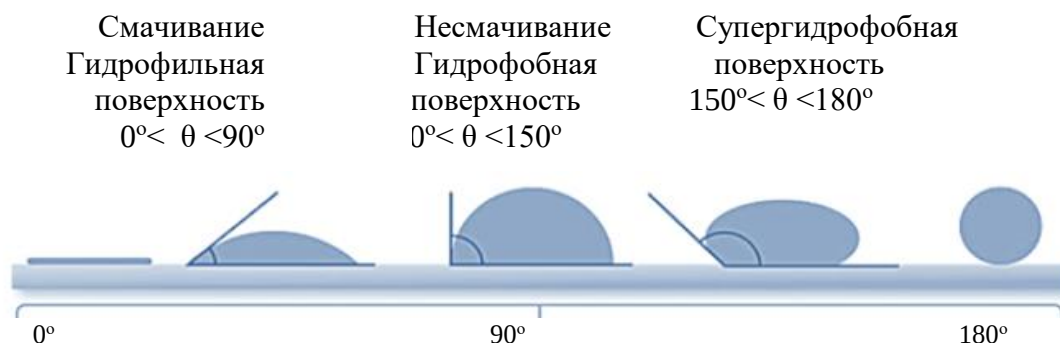


Рисунок 4.21 – Метод лежащей капли: краевой угол смачивания

В данной работе представлены данные по определению краевого угла смачивания поверхностей затвердевших штукатурных растворов на КГВ, модифицированных органическими и неорганическими компонентами [142].

Для определения краевого угла смачивания был применен метод растекающейся капли, являющийся основным при определении гидрофобности или гидрофильности поверхности материала.

В качестве жидкости, смачивающей поверхность, использовали дистиллированную воду и метан.

Измерение краевого угла смачивания осуществляли с помощью фотофиксации методом «сидячей» капли. Для этого каплю воды наносили на горизонтальную поверхность затвердевшего штукатурного раствора на основе КГВ, после чего ее фотографировали. Составы и свойства исследуемых штукатурных растворов на КГВ представлены в таблице 4.14.

По полученному снимку (рисунок 4.22) определяли краевой угол смачивания, измерение которого проводили с помощью системы KRUSS серии DSA30 (KRUSS GmbH, Германия) с применением пакета программного обеспечения. При испытании проводили 5 последовательных измерений. За расчетное значение

краевого угла смачивания принимали среднее значение между левым и правым углом капли. Результаты проведенных исследований представлены в таблице 4.14.

Таблица 4.14 – Состав и свойства штукатурных растворов на КГВ

№	СПMapf SU-84	СП Melflux5 581 F	КГВ : 3	В/Вяз	Подвижность, мм	Начало схват, мин., с	Рсж. Мпа,			Кр
							2 ч	7 сут	28 сут	
1	0.2	-	1:1.5	0.51	155	53	6,1	10,2	14.5	0,74
2	0.2	-	1:2	0.56	150	52	3.7	8,5	9,2	0,73
3	-	0.2	1:1.5	0.50	150	52	6,4	13,0	16.2	0,77
4	-	0.2	1:2	0.57	150	51	4	9,7	13,5	0,76

Примечание. Состав КГВ (% по массе): гипсовое вяжущее -68; цемент-10; тонкодисперсная мин. добавка (кв. песок) -20; метакаолин - 0,5, известняковая пыль -1,5, замедлитель сроков схватывания PlastRetardPE-0,08; стабилизатор Mapf Forbo-Crete S 010 (0,1%)

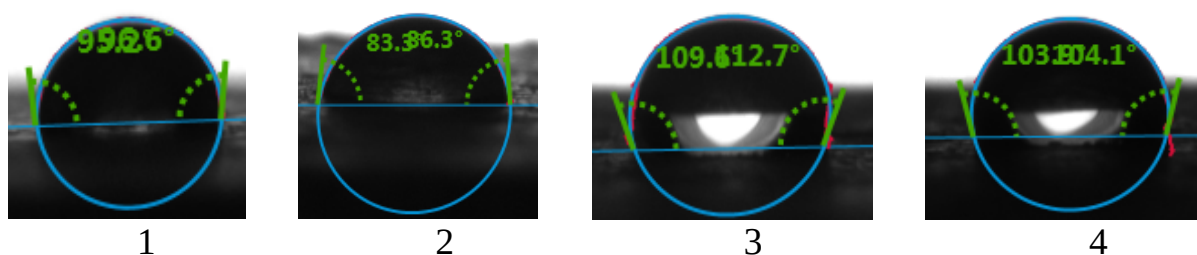


Рисунок 4.22 – Изображения капли дистиллированной воды на поверхности затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ (согласно таблице 4.15).

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что количество заполнителя, а также наличие и вид суперпластификатора в составе штукатурного раствора на КГВ, влияют на значения краевого угла смачивания. При увеличении количества заполнителя в составе штукатурного раствора краевой угол смачивания уменьшается в среднем на 16,5°. Присутствие суперпластификатора Melflux 5581 F в концентрации 0,2 % от массы КГВ в большей степени приводит к повышению гидрофобности поверхности штукатурного раствора по сравнению с добавкой суперпластификатора Mapf SU-84.

Таблица 4.15 – Показатели краевого угла смачивания поверхности затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ

Наименование показателя	Результаты измерений (составы согласно табл.4.13)							
	СП Mapf SU-84				СП Melflux5581 F			
	1		2		3		4	
	КГВ:3=1:1,5		КГВ:3=1:2		КГВ:3=1:1,5		КГВ:3=1:2	
	вода	метан	вода	метан	вода	метан	вода	метан
Средний КУ (ср) [°]	95,8	47,0	79,3	48,8	115,4	40,5	98,8	41,7
Средний КУ (л) [°]	96,1	46,6	79,7	49,1	114,8	40,5	98,3	41,7
Средний КУ (п) [°]	95,6	47,4	78,8	48,5	115,9	40,6	99,3	41,7
Свободная энергия поверхности[mN/m]	36,4		39,7		40,8		38,8	
Дисперсная часть [mN/m]	35,9		34,9		39,4		38,8	
Полярная часть [mN/m]	0,4		4,8		1,4		0,1	

Таким образом, гидрофобность поверхности исследуемых штукатурных растворов на КГВ, модифицированных органическими и минеральными добавками, может способствовать их использованию для наружной отделки фасадов зданий и сооружений.

4.6 Определение прочности сцепления штукатурного раствора на КГВ

В работе была исследована прочность сцепления штукатурных растворов на КГВ с поверхностью бетона. Прочность контактной зоны между бетоном и штукатурным раствором зависит от многих факторов:

- энергетических связей, возникающих на поверхности раздела двух фаз; - наличия химически активных центров в составе штукатурных растворов.
- площади соприкосновения, то есть поверхности контакта между бетоном и штукатурным раствором.
- состояния поверхности бетона и химического состава компонентов штукатурного раствора
- пористости бетона и прочности штукатурного раствора.
- химического взаимодействия между бетоном и раствором, и др.

Важное значение имеет характер разрыва в контактной зоне, который может происходить по границе соприкосновения двух поверхностей; в массиве штукатурного раствора; в бетоне, при условии, что он слабее затвердевшего штукатурного раствора.

Адгезионная прочность затвердевших штукатурных растворов на основе КГВ определялась с помощью адгезиметра Е142 по ГОСТ 28574-90 [143]. и составила 0.8 МПа.

4.7 Определение водоудерживающей способности штукатурного раствора на КГВ

Предотвратить процесс расслоения и водоотделения в штукатурных смесях возможно за счет применения химических добавок в виде водорастворимых полимеров и мелкодисперсных минеральных добавок и наполнителей.

Определение водоудерживающей способности штукатурного раствора на КГВ проводили по методике ГОСТ 58767-2019 [144]. Штукатурный раствор помещали в емкость и уплотняли в течение 10 секунд. Через 1,5 часа определяли количество воды, отделившееся в результате фазы осаждения твердого вещества.

Испытания выполняли дважды на отдельных пробах и вычисляли среднее арифметическое значение из двух определений, отличающихся между собой не более чем на 20 % от наименьшего значения. Результаты испытаний представлены в таблице 4.16.

Таблица 4.16 – Результаты определения водоудерживающей способности штукатурного раствора на КГВ

Показатели	Значения
Масса промокающей бумаги до испытания m_1 , г	11,9
Масса промокающей бумаги после испытания m_2 , г	16,2
Масса установки без растворной смеси m_3 , г	417
Масса установки с растворной смесью m_4 , г	744
Водоудерживающая способность штукатурного раствора на КГВ, V , %	97

Было установлено, что в штукатурном растворе на КГВ проявляется водоудерживающая способность, составляющая 97 %, то есть, его водоотделение ниже допустимого значения (90 %), что связано с достаточным количеством тонкодисперсных компонентов в его составе.

Таким образом, в результате выполненных экспериментальных исследований был разработан состав штукатурного раствора на основе КГВ с повышенными характеристиками (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Основные показатели качества штукатурного раствора на КГВ

Наименование показателей	Значение показателей	
	Результаты испытаний	Требования ГОСТ Р 58279—2018
Подвижность, мм:		
при производстве работ вручную	150	150±10
при механизированном производстве работ	160	160±10
Начало схватывания с момента затворения водой не менее, мин.:		
при производстве работ вручную	45	30
при механизированном производстве работ	60	60
Водоудерживающая способность, %	97	не менее 95
Предел прочности (7 сут), МПа, не менее:		
- на растяжение при изгибе	5-6	1
- при сжатии	9-13	2
Прочность сцепления с основанием, МПа, не менее	0,8	0,3

Разработанный штукатурный раствор на КГВ отвечает современным требованиям Европейских и Российских стандартов за счет оптимального гранулометрического состава некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка, а также плотной упаковки частиц КГВ с комплексом минеральных и химических добавок.

4.8 Выводы по главе 4

1. За счет оптимального гранулометрического состава заполнителя (из обогащенных некондиционных песков дюн песчаной фракцией отсева дробления

известняка) и частиц КГВ, а также суперпластификатора Melflux 5581 F и стабилизатора MAPF Forbo-Crete S 010, была реализована плотная упаковка зерен минерального скелета и достигнуто повышение предела прочности при сжатии образцов и коэффициента размягчения со снижением водопотребности штукатурной смеси на 12 % при требуемой удобоукладываемости.

2. При введении в штукатурную смесь на КГВ комплекса органических добавок – (Plast Retard PE (0.08 %) + Mapf SU 84 + Mapf Forbo-Crete S 010) (0,1%), по сравнению с контрольным составом, наблюдается снижение вязкости в 3,5 раза (с 26 Па ·с до 7,5 Па ·с) и снижение предельного напряжения сдвига в 22 раза (со 110 Па до 5 Па), что способствует снижению нагрузки на электродвигатель смесителя при машинном нанесении (рисунок 4.27, 5).

3. Количество заполнителя, а также наличие и вид суперпластификатора в составе штукатурного раствора на КГВ, влияют на значения краевого угла смачивания. При увеличении количества заполнителя в составе штукатурного раствора краевой угол смачивания уменьшается в среднем на 16,5°. Присутствие СП Melflux 5581 F (0,2%) способствует повышению гидрофобности поверхности затвердевшего штукатурного раствора.

4. Установлены высокие показатели: водоудерживающей способности штукатурного раствора на КГВ с комплексом химических добавок – 97 %; прочности сцепления с бетонным основанием (0,8 МПа), которая в 2.5 раза выше требований ГОСТ Р 58279 – 2018 (Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем).

5. Установлено повышение предела прочности при сжатии затвердевших образцов в 7 -ми суточном возрасте на 20 %, в 28-ми суточном возрасте (хранившихся во влажных условиях) – на 35 %, высушенных до постоянной массы образцов – на 47 %; коэффициента размягчения – с 0,69 до 0,72...0,76.

5 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И ВНЕДРЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время, в условиях роста развития мировой экономики, на рынке возрастает потребность в эффективных и экономичных штукатурных растворах, гарантирующих постоянство их состава, требуемый уровень свойств и высокое качество.

Компоненты, входящие в их состав, должны соответствовать физико-механическим, экологическим требованиям и не представлять опасности для здоровья человека. Они не должны стимулировать развитие бактериальной микрофлоры и обладать токсическим, аллергенным, канцерогенным и генетическим действием.

5.1 Внедрение модифицированных штукатурных растворов на основе КГВ

Результаты проведенных в диссертационной работе исследований были внедрены на экспериментальном участке предприятия по производству товарного бетона «Harfoush Concrete» и в цехе многопрофильного предприятия по производству строительных материалов «Al-Bayaderblockfactory» в г. Рамаллах (Палестина).

Были выпущены опытно-промышленные партии композиционного гипсового вяжущего и штукатурной сухой гипсовой смеси на их основе, объем которой составил 4,5 тонны (150 мешков по 30 кг).

Опытное апробирование состава разработанного штукатурного раствора осуществлено в компании «Al-Zaytouneh» при выполнении отделочных работ в 2-х домах коттеджного типа (площадь 500 м² толщиной 10 мм) в пригороде г. Рамаллах, в селе Дербзи в Палестине.

5.2 Разработка нормативных документов

Для масштабного внедрения результатов научных исследований разработаны, получены и зарегистрированы нормативно-технические документы:

- Стандарт СТО 02066339-001-2023 «Водостойкое композиционное гипсовое вяжущее для штукатурных растворов и сухих строительных смесей» Технические условия», (Приложение А);
- Технологический регламент на производство водостойкого композиционного гипсового вяжущего для штукатурных растворов и сухих строительных смесей, (Приложение Б);
- Технологический регламент на производство модифицированного штукатурного раствора на основе композиционного гипсового вяжущего, (Приложение В).
- Справка о внедрении результатов научно-исследовательской работы в учебный процесс (Приложение Г).
- Акт о производственном внедрения модифицированных штукатурных растворов на основе КГВ (Приложения Д).
- Свидетельство о депонировании результата интеллектуальной деятельности № 223.018.52В8). Название разработки: sand (02.05.2023г.). (Приложение Е).

5.3 Технология производства опытно-промышленной партии сухих штукатурных смесей

Производство сухих смесей для штукатурных растворов на основе КГВ с использованием некондиционных кварцевых песков песчаных дюн Палестины в качестве минеральной добавки и заполнителя, обогащенного песчаной фракцией отсева дробления известняка, с комплексом химических добавок, осуществляли в цехе многопрофильного предприятия по производству строительных материалов «Al-Bayaderblockfactory» в г. Рамаллах, Палестина. Технология включала 2 этапа – приготовление КГВ и непосредственное приготовление сухой штукатурной смеси на его основе, их упаковка, с дальнейшей отгрузкой потребителю (рисунок 5.1).

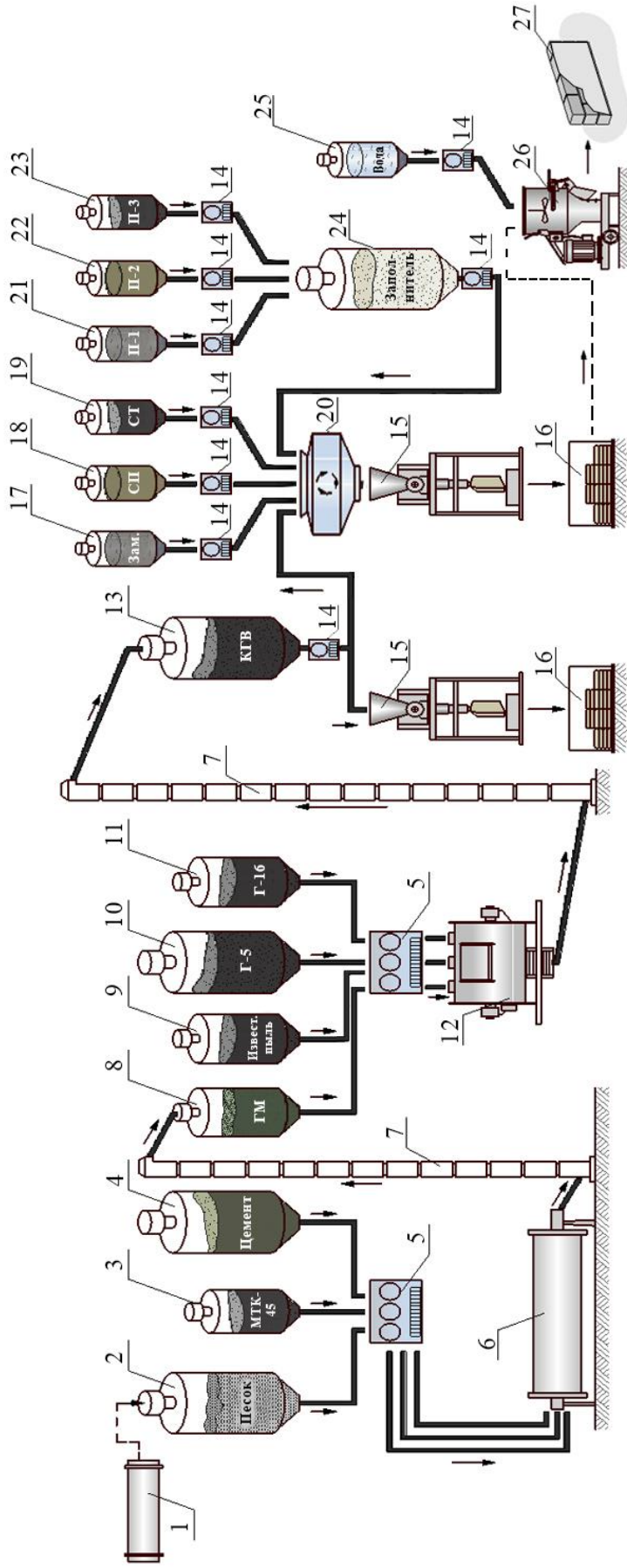


Рисунок 5.1 – Технологическая схема приготовления КГВ и сухой смеси для штукатурных растворов на его основе

1 – сушильный барабан; 2 – приемный бункер кварцевого песка; 3 – приемный бункер кварцевого песка; 4 – приемный бункер портландцемента; 5 – узел дозаторов; 6 – шаровая мельница; 7 – элеватор; 8 – приемный бункер метакрилатного модификатора (ГМ); 9 – приемный бункер известняковой пыли; 10 – приемный бункер гипса (Г-5); 11 – приемный бункер гипса (Г-16); 12 – смеситель сухих смесей (или шаровая мельница); 13 – накопительный бункер КГВ; 14 – дозатор; 15 – устройство расфасовки КГВ; 16 – склад готовой продукции; 17 – приемный бункер замедлителя схватывания; 18 – приемный бункер суперпластификатора; 19 – приемный бункер стабилизатора; 20 – смеситель сухих смесей; 21 – приемный бункер кварцевого песка П-1 (фракции 1,25-0,16); 22 – приемный бункер кварцевого песка П-2 (фракции 2,5-0,315); 23 – приемный бункер песчаной фракции известняка П-3 (фракции 2,5-1,25); 24 – приемный бункер смеси заполнителей; 25 – приемный бункер воды; 26 – смеситель для приготовления штукатурного раствора; 27 – приемный бункер

В соответствии с технологической схемой, осуществляются следующие операции:

- прием, дозировка и измельчение минеральных добавок;
- прием и дозировка портландцемента;
- смешивание, совмещенное с кратковременным домолом, тонкозернистых минеральных добавок (тонкомолотого кварцевого песка и метакеолина ВМК-45) с портландцементом, получение гидравлического модификатора;
- прием и дозировка гипсового вяжущего Г-5 БП;
- прием и дозировка гипсового вяжущего ГВВС-16;
- прием и дозировка известняковой пыли;
- смешивание минеральных компонентов, получение КГВ;
- фасовка КГВ, транспортирование на склад и отгрузка потребителю.
- прием и дозировка замедлителя схватывания;
- прием и дозировка суперпластификатора;
- прием и дозировка стабилизатора;
- прием, просеивание и дозирование заполнителей;
- смешивание КГВ, органических добавок с заполнителем «оптимальной» гранулометрии, получение сухой штукатурной смеси на основе КГВ;
- фасовка, транспортирование сухой штукатурной смеси на основе КГВ на склад и отгрузка потребителю.

При использовании готовой сухой смеси для штукатурных растворов на основе КГВ большая часть технологических операций связана с подготовкой мелкого заполнителя, в качестве которого использовали природный некондиционный кварцевый песок песчаных дюн Палестины и песчаную фракцию отсева дробления известняка. При необходимости, песок промывали, чтобы удалить пыль и загрязнения, используя спиральный классификатор или пескомойку. Затем промытый заполнитель для удаления влаги выдерживали на воздухе на открытых площадках до достижения допустимой влажности заполнителя – до 0,5 %.

Далее, на виброгрохоте с аспирационной системой осуществляли отсев заполнителя (до 2,5 мм). Сухой заполнитель транспортировался и хранился в

силосах или бункерах, откуда часть подавалась в шаровую мельницу для помола с целью получения минеральной добавки, а другая часть – в смеситель для смешивания с КГВ и органическими добавками.

Дозирование вяжущего и заполнителя производится автоматически. Функциональные добавки могут быть взвешены с помощью автоматической системы весового дозирования, предварительно смешаны или введены вручную в соответствии с объемом замеса.

Смешивание компонентов смеси происходит в одновальном горизонтальном смесителе в течение не менее 3 минут. Объем одного замеса составлял 0,75 тонны.

Можно также приготовить модифицированные штукатурные смеси, смешивая компоненты готового вяжущего и заполнителя в одном смесителе.

При аспирации смесителя и бункера над ними устанавливают автономные фильтры, чтобы избежать уноса легких компонентов добавок.

Для осуществления контроля качества при смешивании компонентов из смесителя пробы отбираются с помощью встроенного пробоотборника.

Готовую сухую смесь массой до 30 кг упаковывают в бумажные мешки с полиэтиленовым вкладышем, чтобы предотвратить попадание влаги.

Хранение осуществляют при положительных температурах и относительной влажности воздуха не более 75%. Срок хранения – 6 месяцев со дня изготовления.

Сухая смесь поставляется крупным потребителям, а также частным лицам, которые используют ее для штукатурных работ в общественных и жилых зданиях, при обновлении коттеджей и других построек.

5.4 Расчет экономии материальных затрат на производство штукатурных растворов на основе КГВ

Для определения экономической эффективности производства штукатурных растворов на основе КГВ с минеральными компонентами, такими как молотый кварцевый песок, метакраин ВМК-45 и тонкодисперсная известняковая пыль, был

использован метод сравнительной эффективности и сопоставлены затраты по вариантам при производстве 1000 кг композиционного гипсового вяжущего.

Для сравнения технологических и эксплуатационных свойств разработанного штукатурного состава на КГВ со свойствами прототипа на основе портландцемента и прототипа гипсовой штукатурки для внутренних ремонтных работ, были использованы известные и используемые отделочные составы, имеющие товарное название «Еврохим -1».

Сравнение материальных затрат позволило оценить преимущества использования разработанного штукатурного раствора на основе КГВ с полифункциональными органоминеральными добавками в сравнении с штукатурными растворами на портландцементе и гипсовых вяжущих (таблица 5.2).

Расходы сырьевых материалов, а также их стоимость были взяты из открытых интернет-ресурсов, а также приняты по прайс-листам фирм и торговых организаций (таблица 5.1). Из таблицы 5.1 видно, что себестоимость 1000 кг штукатурного раствора на основе КГВ составила 8110 руб., что на 3132 руб. ниже предлагаемого состава на основе портландцемента (вариант 1), а также на 10040 руб. ниже (более чем в 2 раза) себестоимости раствора на гипсовом вяжущем (вариант 2).

Экономическая эффективность представленных результатов диссертационной работы складывается из экономической и экологической составляющей, так как использование местного природного и техногенного сырья позволит:

- снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, связанную со складированием и захоронением отходов;
- снизить себестоимость штукатурного раствора на КГВ по сравнению с штукатурными растворами на основе портландцемента и на основе гипсового вяжущего, составляющим 3132 руб. и 10040 руб., соответственно, за 1000 кг .
- ускорить выполнение отделочных работ;
- создать более комфортные условия для проживания широким слоям населения.

Таблица 5.1 – Сравнение материальных затрат на производство 1 тонны сухой гипсовой строительной смеси для штукатурного раствора на основе КГВ (в ценах на июль 2023 года).

Сырье и основные материалы:	Единицы измерения	Цена за 1 кг, руб	Норма расхода, кг	Сумма, руб.
Вариант 1 – на портландцементе				
ЦЕМ I42,5 Н	кг	8,4	15	1260
Гашенная известь	кг	9.6	7.3	700
Известковая пыль	кг	42	12.0	5040
Кварцевый или известняковый песок фракции 0,1-1,3 мм	кг	3	65.64	1970
Вермикулит < 1 мм	кг	12	0.37	40
Добавки:				
Эфир целлюлозы Mecellose EMA 70U	кг	700	0,095	670
Эфир крахмала Amitorlite 8860,8882	кг	290	0.015	430
Гидрофиблизатор (стеараты Ca)	кг	250	0.2	500
Итого:			100	11240
Вариант 2 – на основе гипсового вяжущего				
Гипс Г16	кг	19,65	38,4	7550
Г-5	кг	6,3	40,0	2520
Ca(OH)2	кг	64	5,0	3200
Кварцевый или известняковый песок фракции 0-1 мм	кг	3	15,0	450
Перлит	кг	18	1,0	180
Добавки:				
Замедлитель схватывания Plast Retard PE	кг	830	0,1	830
Эфиры целлюлозы Mecellose EMA 70U	кг	700	0,17	1190
Эфир крахмала Esamid NA	кг	290	0,02	580
Порообразователь Esapon 1214	кг	150	0,01	150
Melment F 15G	кг	500	0,3	1500
Итого:			100	18150
Разработанный вариант 3 – сухая гипсовая штукатурка на КГВ				
ЦЕМ 1	кг	8,4	2,86	240
Г-16	кг	19,65	5,8	1140
Г-5	кг	6,3	13,63	860
Молотый кварцевый песок	кг	3,0	5,72	170
Кварцевый песок фракции 1.2-1.6 мм	кг	3,0	71,42	2140
Известыковая пыль	кг	0	0,43	0
Метакаолин ВМК-45	кг	72,2	0,143	100
Добавки				
Замедлитель схватывания Plast Retard PE	кг	830	0,08	660
Суперпластификатор Melflux 5581 F	кг	1250	0,2	2500
Стабилизатор Mapf Forbo Crete S 010	кг	300	0,1	300
Итого:			100	8110

5.5 Выводы по главе 5

1. Предложена технологическая схема приготовления КГВ и сухой смеси для штукатурных растворов на его основе.

2. Опытное апробирование разработанного состава штукатурного раствора осуществлено в компании «Al-Zaytouneh» при выполнении отделочных работ в 2-х домах коттеджного типа (площадь 500 м² толщиной 10 мм) в пригороде г. Рамаллах, в селе Дербзи в Палестине.

3. Экономическая эффективность производства и применения штукатурного раствора на основе КГВ обусловлена:

- использованием некондиционных кварцевых песков песчаных дюн в качестве минеральной добавки и заполнителя, обогащенного песчаной фракцией отсева дробления известняка, с комплексом химических добавок;

- снижением себестоимости штукатурного раствора на КГВ по сравнению с штукатурными растворами на основе портландцемента и на основе гипсового вяжущего, составляющим 3132 руб. и 10040 руб., соответственно, за 1000 кг.

Производство штукатурных растворов на основе КГВ с использованием кварцевых песков песчаных дюн в качестве минеральной добавки и заполнителя, обогащенного песчаной фракцией отсева дробления известняка, с комплексом химических добавок, является актуальным в районах, где имеются некондиционные пески, отсева дробления известняка и месторождения гипса, особенно, если нет производства портландцемента, что характерно для Палестины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования.

Дополнены теоретические представления о процессах структурообразования штукатурных растворов на основе водостойких КГВ, включающих тщательно подобранную смесь гипсовых вяжущих (β -модификации марки Г-5 БП + α -модификации марки ГВВС-16), портландцемента, полифункциональных органо-минеральных добавок, а также заполнителя из некондиционных кварцевых песков дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка оптимизированного гранулометрического состава, обеспечивающие повышенные физико-механические характеристики и водостойкость.

Обоснованы и экспериментально подтверждены технологические решения обеспечивающее получение композиционных гипсовых вяжущих и штукатурного раствора на его основе, с повышенными физико-механическими характеристиками и водостойкостью, путем модификации базовой вяжущей системы комплексом полифункциональных органо-минеральных добавок, а также использования заполнителя с оптимизированным гранулометрическим составом из некондиционных песков песчаных дюн Палестины, обогащенных песчаной фракцией отсева дробления известняка.

Выявлено совокупное влияние дозировки компонентов, гранулометрического состава КГВ и оптимизированной смеси заполнителей на водопотребность штукатурного раствора, что позволило при минимальном расходе воды в смеси для требуемой подвижности достичь, повышения коэффициента размягчения и прочности затвердевшего штукатурного раствора в 7-ми суточном возрасте – на 20%, в 28-ми суточном возрасте – на 47%, обеспечить увеличение степени гидрофобности поверхности камня за счёт создания высокоплотной упаковки на двух масштабных уровнях (КГВ и заполнитель), а также использования суперпластификатора Melflux 5581 F, позволяющие управлять процессом структурообразования на макро- и микроуровне.

Установлена эффективность использования тонкодисперсного кварцевого песка дюн с удельной поверхностью $500 \text{ м}^2/\text{кг}$ при отношении «цемент : песок – 1:2» с дополнительным введением метакаолина ВМК-45 – 0,5%, и известняковой пыли – 1,5% (от массы КГВ) в качестве минеральных добавок. Аморфная фаза SiO_2 в их составе способствует связыванию $\text{Ca}(\text{OH})_2$, выделяющемуся при гидратации C_3S с устранением условий роста высокоосновных гидроалюминатов кальция, этtringита, вызывающих саморазрушение структуры за счет кристаллизационного давления. Более крупные частицы кварцевого песка и известняковой пыли выполняют роль микронаполнителя, а также являются центрами кристаллизации для новообразований, обеспечивая быстрый набор прочности КГВ при твердении.

Выявлено, что комплексные химические добавки, включающие Mapf SU 84 (0,2%) + Plast Retard PE (0,08%) и Melflux 5581 F (0,2%) + Plast Retard PE (0,08%), позволяют замедлить начало схватывания гипсоцементных вяжущих более чем в 5 раз (с 8-30 до 46-00 мин), Более эффективной является комплексная химическая добавка Melflux 5581 F(0,2%)+Plast Retard PE (0,08%), позволяющая повысить прочность затвердевшего КГВ на 66 % (до 20,4 МПа).

В результате совокупного влияния оптимального гранулометрического состава заполнителя из обогащенных некондиционных песков дюн песчаной фракцией отсева дробления известняка и частиц КГВ, а также органических добавок – суперпластификатора Melflux 5581 F, замедлителя схватывания Plast Retard PE и стабилизатора MAPF Forbo-Crete S 010 на свойства штукатурного раствора при требуемой подвижности смеси была реализована плотная упаковка зерен минерального скелета.

При уменьшении на 12 % водопотребности штукатурного раствора на КГВ вязкость снижается в 3,5 раза (с 26 Па·с до 7,5 Па·с), предельное напряжение сдвига в 22 раза (с 110 Па до 5 Па; предел прочности при сжатии затвердевших образцов в 7-ми суточном возрасте повышается на 20%, в 28-ми суточном возрасте (хранившихся во влажных условиях) – на 35%, высушенных до постоянной массы образцов – на 47%; коэффициент размягчения повышается с 0,69 до 0,72...0,76; повышается гидрофобность поверхности затвердевшего штукатурного раствора на

КГВ, показатель водоудерживающей способности до 97 % и показатель прочности сцепления с бетонным основанием до 0,8 МПа.

Предложена технологическая схема приготовления КГВ и сухой смеси для штукатурных растворов на его основе.

Разработанный штукатурный раствор на основе КГВ прошел промышленное внедрение при выполнении отделочных работ в 2-х домах коттеджного типа в пригороде г. Рамаллах, в селе Дербзи (Палестина).

Теоретические и экспериментальные результаты работы могут быть **рекомендованы** для внедрения на предприятиях по производству сухих строительных смесей, а также для использования в учебном процессе при подготовке бакалавров и магистрантов по направлению «Строительство».

Перспективы дальнейших исследований. Исследования целесообразно продолжить в направлении изучения особенностей протекания процессов структурообразования экономичных КГВ и композитов на основе доступных компонентов природного и техногенного происхождения с целью повышения их долговечности, разработки широкой гаммы рецептур различного назначения (стеновых, отделочных и др.) на основе разработанной минеральной системы, исследования их свойств, внедрения в повседневную строительную практику.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загороднюк, Л.Х. Повышение эффективности производства сухих строительных смесей: монография / Л.Х. Загороднюк, В.С. Лесовик. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2014. – 548 с.
2. TPT (The Portland Trust) Palestinian economic bulletin. Palestine Economic Policy Research Institute (MAS), Ramallah, Palestine, May – 2019. – URL:[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pq58gspIJhgJ:https://portlandtrust.org/palestinian-economic-bulletin +&cd = 2&hl=en&ct = clnk&gl =ps](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:pq58gspIJhgJ:https://portlandtrust.org/palestinian-economic-bulletin+%&cd=2&hl=en&ct=clnk&gl=ps). (Accessed 20 Dec 2020.)
3. Green Buildings Guideline / Mutasim Babaa, Monna Sameh, Hussein Muhannad Haj [et al.] // Palestine Second Edition –2022. – Pp.176.
4. Abu, Hanieh A. Sustainable development of stone and marble sector in Palestine / A. Abu Hanieh, S. AbdElall, F. Hasan //Journal of Cleaner Production. – 2014;84(December):581–588. doi: 10.1016/ j.jclepro. 2013.10.045.
5. Al Ramah, M. Marble from the Holy Land: the pillar of the Palestinian export sector/ M. Al Ramah. // Palestine In This Week, Issue – 2011 – URL: <http://thisweekinpalestine.com/marble-from-the-holy-land-the-pillar-of-the-palestinian-export-sector/> (Accessed November 2015.)
6. Al-Joulani, N. Effect of stone slurry waste on strength, permeability and compressibility of clayey and sandy soils/ N. Al-Joulani. //Jordan Journal of Applied Science: Natural Sciences Series. 2007.– Pp. 111.
7. Baah-Ennumh, TY, Yeboah AS, Akularemi AEJ Contextualizing the effects of stone quarrying: insights from the Wenchi municipality in Ghana/ TY. Baah-Ennumh, AS Yeboah, AEJ. Akularemi //GeoJournal. – 201910.1007/s10708-019-10080-8
8. Ферронская, А.В. Справочник. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / под общ. ред. проф., д-ра техн. наук А.В. Ферронской. – М.: Изд-во ABC, 2004. – 485 с.

9. Ферронская, А.В. Гипс в малоэтажном строительстве. / А.В. Ферронская. – М.:Изд-во АСВ. 2008. – 240 с.
10. Коровяков, В.Ф. Перспективы производства и применения в строительстве водостойких гипсовых вяжущих и изделий / В.Ф. Коровяков // Строительные материалы. – М., 2008. – № 3. – С. 65-67 с
- 11.Рахимов, Р.З. Гипс в строительстве с древних веков до современности. Academia. Архитектура и строительство. / Р.З. Рахимов. 2021. – № 4. – С. 120-124.
12. Эльян Исса Жамал Исса Стеновые гипсосодержащие материалы на природном и техногенном сырье Ближнего Востока: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Эльян Исса Жамал Исса. – Белгород, 2014. – 147 с.
13. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества. 4-е изд. / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.
14. Волженский, А.В. Гипсоцементные и гипсошлаковые вяжущие и изделия / А.В. Волженский, М.И. Роговой, В.И. Стамбулко. – М.: Госстройиздат, 1980. – 145 с.
15. Уфимцев, В.М. Композиционные гипсовые вяжущие на дисперсном техногенном сырье / В.М. Уфимцев // Сухие строительные смеси №5. – 2015. – С. 30-32.
16. Клименко, В.Г. Двухфазовые гипсовые вяжущие для сухих смесей на основе техногенного гипса / В.Г. Клименко, А.С. Погорелова, П.П. Хлыповка // Известия вузов. Строительство. – 2005. – № 3. – С. 51-55.
17. Норина, В.Н. Государство Палестина. Экономико-географическое положение. Природные условия и ресурсы / В.Н. Норина // Образовательный портал «Справочник» - Дата последнего обновления статьи: 05.09.2022. – URL:https://spravochnick.ru/geografiya/gosudarstvo_palestina_ekonomikogeograficheskoe_polozhenie_prirodnye_usloviya_i_resursy/ (дата обращения: 24.08.2023).

18. Аль-хуруб, Сакер, География Палестины, Исследование разнообразия мест и человеческого гения / Сакер. Аль-хуруб. // Первое издание. Публикации Департамента публикаций Министерства культуры Палестины, – 2014 г.
19. Geological Survey of Israel, “Lithological map over shaded relief map”, –2000 – URL: <https://www.gov.il/en/departments/general/lyth-israelmap-embossed> (accessed on 15th January 2021)
20. Palestine & Palestinians. Beit Sahour, Palestine: Alternative Tourism Group. – 2008.
21. ISBN:978-9950-319-01-1.
22. Ferry, M. A 48-kyr-long slip rate history for the Jordan Valley segment of the Dead Sea Fault / M. Ferry, M. Meghraoui, A.A. Karaki, M. [et al.] // Earth and Planetary Science Letters. - С. 394- 406.
23. Воронина, В.Л. Средневековый город арабских стран / В. Л. Воронина. – М.: ВНИИТАГ Госкомархитектуры, – 1991. – 103 с.
24. Vernacular Residential buildings, Dr. arch. Nagham Ali Hasan, University of Palestine 2015-2016.
25. Early Roman Architecture, pp. 128-129ю, Yale / Pelican history of art, 1978, Yale University Press, ISBN 0-300.
26. Древняя и средневековая история Палестины / д. Нихад Мухаммад Саади Шейх Халил // Факультет искусств Исламского университета Газы. – 2020.
27. *Kareem, Rabie*, Palestine Is Throwing a Party and the Whole World Is Invited: Capital and State Building in the West Bank / Rabie Kareem // Durham, NC: Duke University Press Books, 2021.
28. Баранова, Н.В. Всемирная история архитектуры в 12 т. / под ред. Н.В. Барановой. – М.: Изд. литературы по строительству. 1969. – 491 с.
29. *International Trade Agreements: Economic Agreement with Israel (Paris Economic Protocol)*, Palestine Trade Center (PalTrade), (accessed May 5, – 2022.)
30. Kubba, S. Handbook of green building design and construction / S. Kubba // 2012. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123851284/handbook-of-green-building-design-and-construction#book-info>

31. Hodiri H. Assessing the Actual Performance of Green Buildings in Palestine: A Case Study (Master Thesis) / H. Hodiri // Nablus, Palestine: An-Najah National University. – 2018. <https://repository.najah.edu/handle/20.500.11888/14171>
32. Kats, G. Greening Our Built World: Costs, Benefits, and Strategies / G. Kats. // Island Press: Washington, DC, USA, – 2010.
33. Menezes, A.C. Predicted vs. actual energy performance of non-domestic buildings: Using post-occupancy evaluation data to reduce the performance gap. / A.C. Menezes, A. Cripps, D. Bouchlaghem // Appl. Energy – 2012, P.355–364. URL: <https://link.springer.com/referencework/10.1007%2F978-1-4614-5828-9https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261911007811?via%3Diuhub>
34. Kibert C.j. Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery / C.j. Kibert // John Wiley & Sons Inc. No. 3 Hoboken, New Jersey, USA. – 2012. <https://scholar.google.com/scholar?q=+author:C.%20j.%20Kibert>
35. Cole, R.J. Rating systems for sustainability, in V. Loftness, D. Haase (Eds.), Sustain / R.J. Cole // Built Environ. 1st ed., Springer, New York – 2013 – Pp. 464-477 URL: <https://link.springer.com/referencework/10.1007%2F978-1-4614-5828-9>
36. U.S. Green Building Council, U.S. green building council, Leadership. Energy Environ. Des. – 2014. – URL: <https://new.usgbc.org/leed>
37. BREEAM, Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology, – 2016– URL: www.breeam.org.
38. Abed, A. Geology of Palestine / A. Abed, S. Al Weshahy. // Palestinian Hydrogeological Group, Palestine, Jerusalem, – 1999. – P.461.
39. Tsaor, H. Elongation and migration of sand dunes. / H. Tsaor, D.G. Blumberg, Y. Stoler. // Geomorphology. – 2004. – Pp. 293-302.
40. Brundtland, G.H. Report of World Commission on Environment and Development (WCED): Our Common Future, A Report Prepared for the General Assembly of the United Nations / G.H. Brundtland // United Nations. – 1987. – URL: <http://thisweekinpalestine.com/marble-from-the-holy-land-the-pillar-of-the-palestinian-export-sector/> (Accessed November 2015.)

41. <http://www.undocuments.net/our-common-future.pdf>
42. Колмыков, А.Н. Строительство в Древнем Египте. Комплексное строительно-техническое и трасологическое исследование / А.Н. Колмыков // Архитектура и строительство России. – 2010. – С.18 -26.
43. Al Ramah, M. Marble from the Holy Land: the pillar of the Palestinian export sector /M. Al. Ramah // Palestine In This Week, Issue. – 2011. URL: <http://thisweekinpalestine.com/marble-from-the-holy-land-the-pillar-of-the-palestinian-export-sector/> (Accessed November 2015.)
44. Al-Joulani, N. Effect of stone slurry waste on strength, permeability and compressibility of clayey and sandy soils. / N. Al-Joulani //Jordan Journal of Applied Science: Natural Sciences Series. –2007. – P. 99 -111.
45. Baah-Ennumh, TY. Contextualizing the effects of stone quarrying: insights from the Wenchi municipality in Ghana/ TY. Baah-Ennumh, AS. Yeboah, AEJ. Akularemi mal. // GeoJournal. –2019.
46. Лукьянова, Т.А. Памятники культуры - уникальные образцы древней технологии / Т.А. Лукьянова. – Артикульт. 2011. 2(2). С. 100-111.
47. Чернышева, Н.В. Водостойкие гипсовые композиционные материалы с применением техногенного сырья. / Н.В. Чернышева, В.С. Лесовик, М.Ю. Дребезгова. – Белгород: Изд. БГТУ. – 2015. – 321 с.
48. Заикина, А.С. Эффективные растворы на основе водостойкого гипсового вяжущего для наружной отделки: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / А.С. Заикина. – Москва, 2010. – 185 с.
49. Игнатова, О.А. Влияние ультрадисперсной добавки сажевого пигмента на свойства гипсоцементно-пуццоланового вяжущего /О.А Игнатова, Н.В Макарова. // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. – № 11-12 (707-708). – С. 31-41.
50. Игнатова, О.А. Применение водостойкого гипсового вяжущего / О.А Игнатова, Н.В Макарова //Труды Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета (Сибстрин). – 2017. – Т. 20. – № 2 (65). – С. 103-108.

51. Халиуллин, М.И. Сухие строительные смеси на основе композиционных гипсовых вяжущих / М.И. Халиуллин, Р.З. Рахимов, А.Р. Гайфуллин. // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 1 (31). – С. 153-159.
52. Халиуллин, М.И. Композиционные гипсовые вяжущие с добавками извести, керамзитовой пыли и суперпластификаторов /М.И. Халиуллин, Р.З. Рахимов, А.Р. Гайфуллин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2012. – № 4 (22). – С. 351-355.
53. Сафонова, Т.Ю. Влияние реактивного пуццолана на свойства смешанного воздушного вяжущего / Т.Ю. Сафонова // Вестн. гр. инж. – 2012. – № 2. – С. 174-179.
54. Структура и свойства гипсовых композиций с минеральными дисперсными добавками / М.Д. Батова, Ю.А. Семёнова, [и др.] // Строительные материалы. – 2021. – № 10. – С. 49-53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2021-796-10-49-53>
55. Ангидритовое вяжущее, модифицированное комплексной добавкой, для сухих строительных смесей / А.Ф. Бурьянов, Х.-Б. Фишер, В.Ф. Коровяков [и др.] // Строительные материалы. – 2022. – № 8. – С. 36-40. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-36-40>
56. Исследование влияния различных активизирующих добавок на свойства ангидритового вяжущего / А.Ф. Бурьянов, Х.-Б. Фишер, Н.А. Гальцева [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 7. – С. 4-9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-4-9>
57. Гипсовые модифицированные композиции с использованием активированного базальтового наполнителя / В.Б. Петропавловская, М.Ю. Завадько, Т.Б. Новиченкова [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 7. – С. 10 -17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-10-17>
58. Халиулин, М.И. Влияние вида и механоактивации минеральных наполнителей на свойства композиционных гипсовых вяжущих. / М.И. Халиулин, А.И. Гильманншина // В сборнике: X Международная научно-

- практическая конференция «Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий». Материалы конференции. Воронеж. – 2021. – С.142-149.
59. Исследование влияния пуццоланового компонента на структуру и состав модифицированных сульфатных матриц / А.Ф. Гордина, И.С. Полянских, Н.С. Жукова [и др.] // Строительные материалы. – 2022. – № 8. – С. 51-58. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-805-8-51-58>
60. Ферронская, А.В. Гипсовые вяжущие в ресурсосберегающих системах малоэтажного строительства / А.В. Ферронская, В.Ф. Коровяков // Сухие строительные смеси. – 2005. – № 3. – С. 56 – 57, 79.
61. Коровяков, В.Ф. Модифицированные гипсовые штукатурные растворы для наружной отделки / В.Ф. Коровяков, А.С. Заикина // ALITinform: Цемент. Бетон. Сухие смеси. – 2013. – № 1 (28). – С. 96 -104.
62. Коровяков, В.Ф. Структура твердеющего камня из композиционных гипсовых вяжущих / В.Ф. Коровяков // Сухие строительные смеси. – 2013. – № 1 – С. 16 -19.
63. Коровяков, В.Ф. Повышение водостойкости гипсовых водостойких вяжущих и расширение областей их применения / В.Ф. Коровяков // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2005. – № 3. – С. 14 – 17.
64. Коровяков, В.Ф. Модифицирование свойств гипсовых вяжущих органоминеральным модификатором / В.Ф. Коровяков // Сухие строительные смеси. – 2013. – № 3. – С. 15-17.
65. Коровяков В.Ф. Структура твердеющего камня из композиционного гипсового вяжущего / В.Ф. Коровяков // Сухие строительные смеси №5. – 2015. – С. 17-20.
66. Копаница, И.О. Сухие строительные смеси с армирующими добавками для штукатурных работ / И.О. Копаница, М. М. Непряхина // Сухие строительные смеси. – 2007. – № 1. – С. 60 -61.
67. Сеньков, С.А. Гипсовые вяжущие вещества для сухих строительных смесей с органоминеральным модификатором / С.А. Сеньков // Повышение

- эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий: материалы конференции. – Нижний Новгород, –2014. – С. 155 -160.
68. Модификация вяжущих на основе сульфата кальция комплексными добавками / Н.С. Рузина, Г.И. Яковлев, А.Ф. Гордина [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 7. – С.18-22. DOI:<https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-18-22>
69. Состав и свойства композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости/ С.А. Отман Азми, Н.В. Чернышева, М.Ю. Дребезгова [и др.] // Строительные материалы. –2023. – №5. – С.4-9. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-4-9>
70. Lesovik, V. Fast-Curing Composites Based on Multicomponent Gypsum Binders / V. Lesovik, M. Drebezgova, R. Fediuk // Journal of Materials in Civil Engineering. – 2020. – Vol. 32. – No 9. 04020234. – P. 24-33. DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003313..34031/2071-7318-2023-8-4
71. Чернышева, Н.В. Сухие строительные смеси на основе КГВ / Н.В. Чернышева, С.-А.Ю. Муртазаев, А.Х. Аласханов // Научные исследования, наносистемы и ресурсосберегающие технологии в промышленности строительных материалов (XIX научные чтения): материалы Международной научно-практической конференции. – Белгород: Изд-во БГТУ. – 2010. – Ч. 3. – С. 288-292.
72. Бурьянов, А.Ф. Модифицированное вяжущее на основе синтетического ангидрита / А.Ф. Бурьянов, Н.А. Гальцева, Е.Н. Булдыжова // Техника и технология силикатов. – 2021. – Т. 28 № 3. – С. 88-94.
73. Галаутдинов, А.Р. Повышение водостойкости гипсоцементно-пуццоланового вяжущего на основе низкомарочного гипса / А.Р. Галаутдинов, Р.Х. Мухаметрахимов // Известия КГАСУ. – 2016. – № 4 (38). – С. 333-343.
74. Дребезгова, М.Ю. Композиционное гипсовое вяжущее с многокомпонентными минеральными добавками разного генезиса / М.Ю

- Дребезгова, Н.В. Чернышева, С.В. Шаталова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №10. – С. 27-34.
75. КНАУФ. Немецкий стандарт. Информационное издание. 2020./www.knauf.kz/
76. Vetonit Profi Gyps Штукатурка гипсовая усиленная на официальном сайте производителя
77. https://m-strana.ru/articles/volma-sloyshtukaturka/ysclid=llpitjofxf725309255&utm_source=copy&utm_medium=direct&utm_campaign=copy_from_site
78. UNIS Теплон Универсальный - влагостойкая гипсовая штукатурка - ГК UNIS (unistrom.ru)
79. Штукатурка гипсовая универсальная белая Основит PRO (osnovit.ru)
80. ГОСТ 125-2018. Вяжущие гипсовые. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2018. – 10 с.
81. ГОСТ 30108-94 Межгосударственный стандарт. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов М.:Стандартинформ, 2007. – 10 с.
- 82.ГОСТ Р 58279—2018 «Смеси сухие строительные штукатурные на гипсовом вяжущем. Технические условия». – М.: Стандартинформ, 2019 – 7 с.
83. Ребиндер, П.А. Поверхностные явления в дисперсных системах. – Т.2. Физико-химическая механика / П.А. Ребиндер. – М.: Наука, – 1979. – 381 с.
84. Ратинов, В.Б. Добавки в бетон / В.Б. Ратинов, Т.И. Розенберг. – М.: Стройиздат, – 1977. – 217 с.
85. Рахимбаев, Ш. М. Вопросы рационального применения пластификаторов в технологии бетона / Ш. М. Рахимбаев // Современные проблемы строительного материаловедения: матер. пятых академ. чт. РААСН. – Воронеж, 1999. – С. 369-371.
86. Влияние пластификаторов на твердение гипсового вяжущего / С.С. Шленкина, М.С. Гаркави, Р.Новак [и др.] // Строительные материалы. –2007. – № 9. – С. 61-62.

87. Пустовгар, А.П. Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях / А.П. Пустовгар, А.Ф. Бурьянов, П.Г. Василик // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – С. 62 - 65.
88. Исследование активности пуццоланового компонента и суперпластификатора для гипсоцементно-пуццоланового вяжущего белого цвета / Н.Н. Морозова, Г.В. Кузнецова, Н.В. Майсурадзе [и др.] // Строительные материалы. – 2018. – № 8. – С. 26-30. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-762-8-26-30>
89. Особенности структурообразования композиционных гипсовых вяжущих с комплексом минеральных и органических добавок / С.А. Отман Азми, Н.В. Чернышева, М.Ю. Дребезгова [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова – 2023. – №4, – С.24 – 33. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-4-24-33.
90. Сухие растворные смеси для высококачественной отделки зданий и сооружений / М.Г. Алтыкис, И.В. Морева, М.И. Халиуллин [и др.] // Известия вузов. Строительство. – 2002. – № 4. – С. 60 - 63.
91. Состав и реологические свойства формовочных смесей на композиционном гипсовом вяжущем / Н.В. Чернышева, В.С. Лесовик, М.Ю. Дребезгова [и др.] // Строительные материалы. – 2021. – №8. – С. 45-52.
92. Лесовик, В.С. Методы исследования строительных материалов / В.С. Лесовик, А.Д. Толстой. – Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, – 2010. – 95 с.
93. ГОСТ 23789-2018 «Вяжущие гипсовые. Методы испытаний» на приборе Вика. – М.: Стандартинформ, 2018. – 20 с.
94. ТУ 21-31-62-89 «Гипсоцементнопуццолановое вяжущее вещество». Технические условия. – М.: Издательство стандартов, – 1989. – 19 с.
95. Соколов, В.Н. Применение компьютерного анализа РЭМ-изображений для оценки емкостных и фильтрационных свойств пород – коллекторов нефти и газа / В.Н. Соколов, В.А. Кузьмин // Изв. АН Сер. физ. – 1993. – Т. 57. – № 8. – С. 94-98.

96. Горшков, В.С. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учебное пособие / В.С. Горшков, В.В. Тимашев, В.Г. Савельев – М.: Высш. школа, – 1981. – 335 с
97. ГОСТ 28013-89. Растворы строительные. Общие технические условия. – М.: Изд-во стандартов, – 1989. – 14 с.
98. ГОСТ 10180–2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам – Введ. 01.07.2013. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 35 с.
99. ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2010– 4 с.
100. ГОСТ 32419-2022 Межгосударственный стандарт. Классификация опасности химической продукции. Общие требования.
101. Соломатов, В.И. Пути активации наполнителей композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, Л.И. Дворкин, М.И. Чудновский // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1987. – № 1. – С. 61-63.
102. Евтушенко, Е.И. Активационные процессы в технологии строительных материалов / Е.И. Евтушенко. – Белгород: Изд-во БГТУ им.В.Г. Шухова, – 2003. – 209 с.
103. Кузьмина, В.П. Механоактивация материалов для строительства / В.П. Кузьмина // Строительные материалы. – 2007. – сентябрь. – С. 52 -54.
104. Рахимов, Р.З. Плотность упаковки зерен композиционного гипсового вяжущего в зависимости от дисперсности и гранулометрического состава Р.З. Рахимов, А.Р. Гайфуллин, М.И. Халиуллин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16. – № 7. – С. 129 -131.
105. Зозуля, П.В. Оптимизация гранулометрического состава и свойств заполнителей и наполнителей для сухих строительных смесей». / П.В. Зозуля // Сборник тезисов. 3-я Международная конференция «Сухие строительные смеси для XXI века: Технологии и бизнес». – 2003. – С.12-13.
106. Расчет и подбор высокоплотного зернового состава заполнителя и бетона на гипсовом композиционном вяжущем / Н.В. Чернышева, А.Н. Хархардин, Эльян Исса Жамал Исса [и др.] // Вестник Белгородского

- государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 43-48.
107. Оптимизация внутренней структуры дисперсных систем не гидратационного твердения / В.Б. Петропавловская, В.В. Белов, Т.Б. Новиченкова [и др.] // Строительные материалы. 2010. № 7. с. 22-24.
 108. Гранулометрический состав как критерий регулирования свойств дисперсных систем / В.Б. Петропавловская, Т.Б. Новиченкова, В.В. Белов [и др.] // Строительные материалы. – 2013. – № 1. – С. 64-65.
 109. Белов, В.В. Компьютерное моделирование и оптимизирование составов строительных композитов: монография / В.В. Белов, И.В. Образцов. Тверь: ТвГТУ, – 2014. – С. 124.
 110. Белов, В.В. Строительные композиты из оптимизированных минеральных смесей: монография / В.В. Белов, М.А. Смирнов. Тверь: ТвГТУ, – 2012. – С. 105.
 111. Дьяченко, Е.И. Роль зернового состава заполнителя в сухих строительных смесях / Е.И. Дьяченко, А.Н. Сушенков. // Сб. трудов 3-й международной научно-технической конференции «Современные технологии сухих смесей в строительстве. Петербург. – 2001. – С.83-89.
 112. Хархардин, А.Н. Структурная топология дисперсных систем взаимодействующих микро- и наночастиц / А.Н Хархардин. // Известия вузов. Строительство. – № 5. – 2011. – С. 119-125
 113. Миронов, В.А. Связь зернового состава с объемно-массовыми характеристиками минеральных компонентов строительных смесей / В.А. Миронов, В.В. Белов, А.И. Голубев. // Сухие строительные смеси. –2008. – № 6. – С. 63-65.
 114. Королев, Л.В. Анализ упаковки полидисперсных частиц в композитных строительных материалах / Л.В. Королев, А.П. Лупанов, Ю.М. Придатко. // Современные проблемы науки и образования. – 2007. –№ 6. – С. 105-108.

115. Сушенков, А.Н. Роль зернового состава заполнителя в сухих строительных смесях / А.Н. Сушенков // Сборник трудов 3-й международной научно-технической конференции «Современные технологии сухих смесей в строительстве». Санкт-Петербург. – 2001. – С. 83-89.
116. Влияние гранулометрического состава композиционного гипсового вяжущего на его свойства / С.А. Отман Азми, Н.В. Чернышева, М.Ю. Дребезгова [и др.] // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова – 2023.– №6 – С.1-10. DOI: 10.34031/2071-7318-2023-8-6-8 00.
117. Ushero-Marshak, A.V. The thermokinetic factor in cement hardening / A.V. Ushero-Marshak, A.G. Sinyakin. Cement, – 1997. – Pp. 19-21.
118. Ушеров-Маршак, А.В. Калориметрия цемента и бетона: избранные труды / А.В. Ушеров-Маршак. – Харьков Факт, – 2002. – 183 с.
119. Алкснис, Ф.Ф. Твердение и деструкция гипсоцементных композиционных материалов / Ф.Ф. Алкснис. – Л.: Стройиздат, 1988. – 103 с.
120. Дребезгова, М.Ю. К вопросу кинетики тепловыделения при гидратации гипсовых вяжущих (Часть I) / М.Ю. Дребезгова. // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2017. – №3. – С.19-23.
121. Дребезгова, М.Ю. Кинетика тепловыделения при гидратации композиционных гипсовых вяжущих (часть 2) / М.Ю. Дребезгова, Н.В. Чернышева. // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2017. – №4. – С. 6-9.
122. 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. – №12. Т.5. – С.118-122.
123. Тайех, Джехад. Ограждающие конструкции современного строительства в условиях жаркого климата Палестины / Джехад Тайех. // Вестник МГСУ. – 2008. – № 3. – С. 22-26
124. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества. 4-е изд. / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с. Уфимцев В.М. Композиционные

- гипсовые вяжущие на дисперсном техногенном сырье / В.М. Уфимцев // Сухие строительные смеси №5. – 2015. – С. 30-32.
125. Гипсовое вяжущее низкой водопотребности: производство и свойства / М.С. Гаркави, А.В. Артамонов Е.В. Колодежная [и др.] // Строительные материалы. – 2020. – № 7. – С. 34-38. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-34-38>
 126. ГОСТ 8736-2014 Межгосударственный стандарт. Песок для строительных работ. Технические условия. - 10 с.
 127. Отман, Азми С.А. Влияние зернового состава заполнителя на свойства штукатурных растворов на основе композиционного гипсового вяжущего / С.А. Отман Азми. // Строительные материалы. 2023. №8, С.35-41. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2020-782-7-34-38>
 128. Granlab <https://www.youtube.com/watch?v=keirBqUH-Qw>
 129. Вознесенский, В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / В.А. Вознесенский. – М.: Финансы и статистика, – 1981. – 263 с.
 130. Налимов, В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. – М.: Наука, – 1965. – 398 с.
 131. Вознесенский, В.А. Математическая теория эксперимента и управления количеством композиционных материалов / В.А. Вознесенский. – Киев: Знание, УССР. – 1979. – 27 с.
 132. Урьев, Н.Б. Взаимосвязь контактных взаимодействий и структурно-реологических свойств цементных паст, растворных и бетонных смесей / Н.Б. Урьев. // Тезисы докл. IV Всесоюзного симпозиума: Реология бетонных смесей и ее технологические задачи. – Рига: Изд. Рижского политехнического ин-та. – 1982. – С. 3-6.
 133. Урьев, Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов / Н.Б. Урьев. – М.: Химия, – 1988. – 256 с.
 134. Урьев Н.Б. Динамика структурированных дисперсных систем / Н.Б. Урьев // Коллоидный журнал. – 1998. – № 5. – С. 662-683.

135. Урьев, Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы / Н.Б. Урьев // – М.: Химия, – 1980. – С. 42-47.
136. Рахимбаев, Ш.М. Регулирование технических свойств тампонажных растворов / Ш.М. Рахимбаев. – Ташкент: Наука, – 1976. – 198 с.
137. Волков, В.А. Коллоидная химия. Поверхностные явления и дисперсные системы / В.А. Волков // Учебник. – 2-е изд., испр. – СПб.: Лань. – 2015. – 660 с.
138. Адамсон, А. Физическая химия поверхностей / А. Адамсон – М.: Мир. – 1979. – 568 с.
139. Зимон, А.Д. Адгезия жидкости и смачивание / А.Д. Зимон. – М.: Химия. – 1974. – 416 с.
140. Сумм, Б.Д. Физико-химические основы смачивания и растекания / Б.Д. Сумм, Ю.Б. Горюнов. – М.: Химия. – 1976. – 240 с.
141. <https://research-journal.org/archive/12-102-2020december> /issledovanie-kraevogo-ugla-smachivaniya-polietilenovoj-plenki-modificirovannoj-organicheskimi-i-neorganicheskimi-komponentami
142. Отман, Азми С.А. Определение водоотталкивающих свойств штукатурных растворов на КГВ, модифицированных органическими добавками / С.А. Отман Азми, Н.В. Чернышева. // Материалы VIII Всероссийская научно-практическая конференция «ИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ». Владивосток. – 2023. – С. 152-156.
143. ГОСТ 28574-90 Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Методы испытаний адгезии защитных покрытий. – М.: Стандартиформ, 1990. – 6 с.
144. ГОСТ Р 58767-2019 Растворы строительные. Методы испытаний по контрольным образцам. М.: Стандартиформ. 2020. – 19 с
145. Методические указания по оценке экономической эффективности научно-исследовательских работ по созданию и внедрению строительных материалов. / Г.И. Горчаков, Л.П. Орендлихер, Р.З. Кашкенбаева, А.Н. Обиджанов А.Н. // -М: МИСИ, – 1986.

146. Себелев, И.М. Сухие строительные смеси и стандарты на их применение / И.М. Себелев. // Проектирование и строительство в Сибири. – 2003. – №2. – С. 19-20.
147. Гонтарь, Ю.В. Модифицированные сухие смеси для отделочных работ / Ю.В. Гонтарь, А.И. Чалова. // Строительные материалы. – 2001. – №4. – С. 8-10.
148. Расширение гипсового камня в присутствии поликарбонатного гиперпластификатора / А.С. Панфилов., И.Н. Медведева., А.С. Брыков [и др.] // Цемент и его применение. – 2017. – № 1. – С. 94-97.
149. Самченко С.В. Формирование и генезис структуры цементного камня [Электронный ресурс]: монография/ Самченко С.В. – Электрон. текстовые данные.- М.: Московский государственный строительный университет, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ. – 2016. – 284 с. – Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/49874.html>. – ЭБС «IPRbooks».

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Стандарт организации на водостойкое композиционное гипсовое вяжущее для штукатурных растворов и сухих строительных смесей

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)

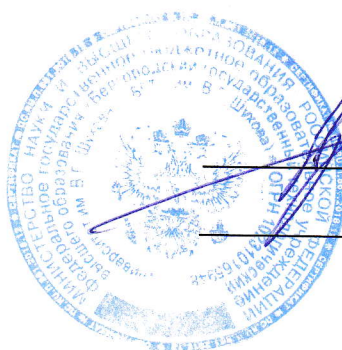
Утверждаю:

Первый проректор

д-р техн. наук, проф.

Е.И. Евтушенко

12.04 2023 г



СТАНДАРТ ОРГАНИЗАЦИИ

Водостойкое композиционное гипсовое вяжущее для штукатурных растворов и сухих строительных смесей

Технические условия

СТО 02066339-52-2023

Согласовано:

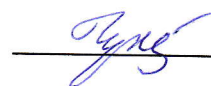
Директор

ООО «СтройСервисИнновации»

 Д.М. Сопин

Разработано:

Науч.руков.: д-р техн. наук, проф.

 Н.В. Чернышева
10.04. 2023 г.

Исполнитель: аспирант

 Отман Азми С.А.
10.04. 2023 г.

Белгород 2023 г

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Технологический регламент на производство водостойкого композиционного гипсового вяжущего для штукатурных растворов и сухих строительных смесей

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)

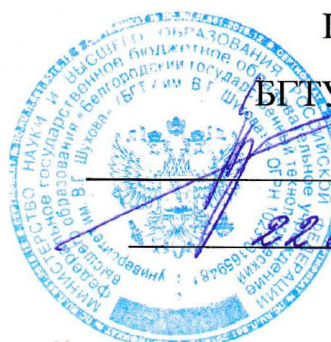
Утверждаю:

Первый проректор

БГТУ им. В.Г. Шухова

Е.И. Евтушенко

2023 г



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на производство водостойкого композиционного гипсового вяжущего для штукатурных растворов и сухих строительных смесей

Согласовано:

Директор ООО «Альфа-спираль»



Ю.С. Топчий

Разработано:

д-р техн. наук, проф.

Н.В. Чернышева

аспирант кафедры СМИиК

БГТУ им. В.Г. Шухова

Отман Азми С.А.

Белгород 2023 г

ПРИЛОЖЕНИЕ В – Технологический регламент на производство водостойкого композиционного гипсового вяжущего для штукатурных растворов и сухих строительных смесей

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова (БГТУ им. В.Г. Шухова)

Утверждаю:

Первый проректор

БГТУ им. В.Г. Шухова

Е.И. Евтушенко

_____ 2023 г



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ

на производство модифицированного штукатурного раствора на основе композиционного гипсового вяжущего

Согласовано:

Директор

ООО «СтройСервисИнновации»

_____ Д.М. Сопин

Разработано:

д-р техн. наук, проф.

_____ Н.В. Чернышева

Аспирант кафедры СМИиК

БГТУ им. В.Г. Шухова

_____ Отман Азми С.А.

Белгород 2023 г

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Справка о внедрении технологии производства модифицированных штукатурных растворов

الزيتونة للاستشارات الهندسية



Al-Zaytouneh Consulting Eng.

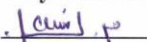
СПРАВКА

На предприятии «Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting» внедрена технология производства модифицированных штукатурных растворов на основе композиционного гипсового вяжущего (КГВ) с заполнителем из обогащенного некондиционного кварцевого песка песчаных дюн песчаной фракцией отсева дробления известняка, разработанная в Белгородском государственном технологическом университете имени В. Г. Шухова при выполнении диссертационной работы аспирантом кафедры строительного материаловедения, изделий и конструкций **Отман Азми С.А** под руководством д-ра техн. наук, профессора Чернышевой Н.В.

Опытное апробирование состава разработанного штукатурного раствора осуществлено в компании «Al-Zaytouneh» при выполнении отделочных работ поверхности конструкций площадью 500 м² с толщиной отделочного слоя 10 мм в 2-х домах коттеджного типа в пригороде г. Рамаллах, в селе Дербзи (Палестина).

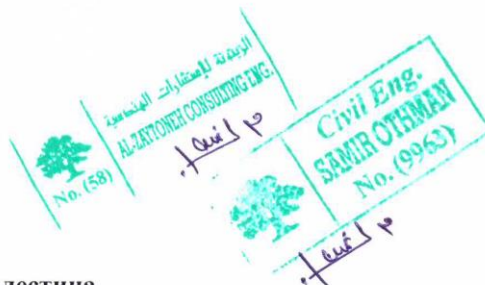
Выпуск модифицированных штукатурных растворов на КГВ с начала внедрения технологии их изготовления составил 4500 кг. Себестоимость 1000 кг штукатурного раствора на основе КГВ составила 8110 руб (100\$), что на 3130 руб ниже себестоимости штукатурного раствора на основе портландцемента.

Директор компании «Al-Zaytouneh»

Инж. Отман Самир А.Х. 

Эл.почта: Al_zaytouneheng@yahoo.com

Адрес компании: ул.Рукаб, Г.Рамаллах, Палестина.



P.O.Box 1176
Al-Farah Build. Ramallah
Tel.: 972 02 2986067
Fax: 972 02 2980477
E-mail Zaytouneheng@yahoo.com

ПРИЛОЖЕНИЕ Г – Справка о внедрении технологии производства модифицированных штукатурных растворов



REFERENCE

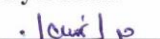
At Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting, a technology has been introduced for the production of modified plaster mortars with filler from enriched quartz sand from the sand dunes of Palestine with a sand fraction of limestone crushing screenings. Based on a composite gypsum binder (CGB), developed at the Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov during the dissertation work by graduate student of Department of Building Materials Science, Products and Structures Othman Azmi S.A under the guidance of Dr. technological Sciences, Professor Chernysheva N.V.

Experimental approbation of the composition of the developed plaster solution was carried out in the Al-Zaytouneh company when performing finishing work in 2 cottage-type houses in the suburbs of Ramallah, in the village of Derbzi (Palestine).

The output of modified plaster solutions of CGB from the beginning of the introduction of their manufacturing technology amounted to 4.1 m³, the economic effect was

8.1 thousand rubles (\$ 100) from 1 m² of the surface of the structure with a thickness of 10 mm.

Company director of «Al-Zaytouneh»

Eng. Othman Samir A.H. 

Email: Al_zaytouneheng@yahoo.com

Address: Palestine, Ramallah, Rukab street, Al Farah building.



ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Акт о производственном внедрении модифицированных штукатурных растворов на основе КГВ при выполнении отделочных работ в 2-х домах коттеджного типа в пригороде г. Рамаллах, в селе Дербзи (Палестина).



Harfoush Ready Mix Concrete

شركة خريثا المصباح للباطون الجاهز
Kharbatha Al-Musbah For Ready Mix Co.

باطون حرفوش

УТВЕРЖДАЮ

Директор

«Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting»

АКТ

о производственном внедрении модифицированных штукатурных растворов на основе КГВ с минеральными добавками (тонкодисперсным кварцевым песком, метаксаолином ВМК-45 и известняковой пылью)

Мы, нижеподписавшиеся представитель «Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting» Харфуш Валид Ю.Х. с одной стороны, и представители кафедры «Строительные материалы, изделия и конструкции» Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова доцент, д-р техн. наук Чернышева Н.В. и аспирант Отман Азми С.А. с другой стороны составили настоящий акт о нижеследующем

По согласованию сторон на основании результатов исследований, проведенных в БГТУ им. В.Г. Шухова, при выполнении диссертационной работы на предприятии «Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting» в г. Рамаллах была внедрена технология производства модифицированных штукатурных растворов с заполнителем из обогащенного кварцевого песка песчаных дюн Палестины песчаной фракцией отсева дробления известняка на основе композиционного гипсового вяжущего (КГВ).

Производственные испытания модифицированных штукатурных растворов на основе КГВ с минеральными добавками (тонкодисперсным кварцевым песком, метаксаолином ВМК-45 и известняковой пылью) с заполнителем из обогащенного кварцевого песка песчаных дюн Палестины песчаной фракцией отсева дробления известняка показали эффективность их применения при внутренней и наружной отделке зданий и сооружений.

Проведенные испытания доказали возможность получения экологически чистого отделочного материала со значительным снижением клинкерной составляющей.

Директор *Wahid Harfoush*
Эл.почта: harfoushconcrete@gmail.com

Харфуш Валид Ю.Х.

Представители БГТУ им. В.Г. Шухова;
Научный руководитель
Д-р техн. наук, доц.
Аспирант кафедры СМИнК

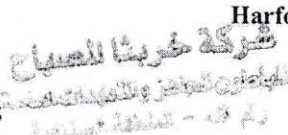
شركة خريثا المصباح
للباطون الجاهز والتجهيزات العامة
المنطقة الصناعية
رام الله - 2957021

Handwritten signature of N.V. Chernysheva

Чернышева Н.В.
Отман Азми С.А.

رام الله - المنطقة الصناعية
المكتب: 02-2957021
المصنع ديرابيع: 02-2489923
جوال: 0599 996702

ПРИЛОЖЕНИЕ Д – Акт о производственном внедрении модифицированных штукатурных растворов на основе КГВ при выполнении отделочных работ в 2-х домах коттеджного типа в пригороде г. Рамаллах, в селе Дербзи (Палестина).

	شركة خربثا المصباح للبساتون الجاهز Kharbatha Al-Musbah For Ready Mix Co. باطون حرفوش Harfoush Ready Mix Concrete
I director of «Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting» approve ACT Introduction on the production of modified plaster mortars based on composite gypsum binder (CGB) with mineral additives (fine quartz sand, highly activated metakaolin HAM-45 and limestone dust) We, the undersigned representative of "Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting" Harfoush Waleed U.K. on the one hand, and representatives of the department "Building materials, products and structures" of Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhov Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences Chernysheva N.V. and graduate student Othman Azmi S.A on the other hand, have wrote this act as follows : By agreement of the parties on the basis of the results of studies conducted at BSTU. V.G. Shukhov, when performing his dissertation work at the Kharbatha Al-Misbah Company for Ready Mix Concrete and General Contracting enterprise in Ramallah, a technology was introduced for the production of modified plaster mortars with filler from enriched quartz sand from the sand dunes of Palestine with a sand fraction of limestone crushing screening screening based on a composite gypsum binder (CGB). Production tests of modified plaster mortars based on KGV with mineral additives (fine quartz sand, highly activated metakaolin HAM-45 and limestone dust) with filler from enriched quartz sand from sand dunes of Palestine with a sand fraction of limestone crushing screening showed the effectiveness of their use in interior and exterior finishing of buildings and structures . The tests carried out proved the possibility of obtaining an environmentally friendly finishing material with a significant reduction in the clinker component.	
Director <i>Walid Harfoush</i> Email : harfoushconcrete@gmail.com	Harfoush Waleed U.K. 
Representatives of BSTU named after. V.G. Shukhov; Scientific supervisor Associate Professor, Doctor of Engineering Sciences Postgraduate student	 Chernysheva N.V. Othman Azmi S.A.
رام الله - المنطقة الصناعية المكتب: 02-2957021 المصنع ديرابزيع: 02-2489923 جوال: 0599 996702	

ПРИЛОЖЕНИЕ Е – Свидетельство о депонировании результата интеллектуальной деятельности

Адрес: 191317, Россия, СПб, пл. Александра Невского, д. 2, лит. Б Сайт: edrid.ru / E-mail: info@edrid.ru	АО «ЕДРИД» ОГРН: 1157847390238 ИНН/КПП: 7842076250 / 784201001
--	---

**Акционерное общество
«Единый депозитарий результатов
интеллектуальной деятельности»**

СВИДЕТЕЛЬСТВО

**о депонировании
результата интеллектуальной деятельности**

№ 223.018.52B8

Название разработки:

sand

Вид объекта: **Программа для ЭВМ**
Автор: **Отман Азми СА**
Правообладатель: **Отман Азми СА**
Дата публикации: **2 Мая 2023**



Копия РИД (электронный депозитарий):
<https://edrid.ru/rid/223.018.52b8.html>
Хеш-код депонирования:
86c6a611066272f63766c3d4094e1cfd97434eb41c6e1ce02758b88e80557c71



Эталон РИД подписан усиленной квалифицированной подписью
Сертификат электронной подписи: 3955 1CD1 0002 0000 1965
Выдан ООО «КРИПТО-ПРО»



Уполномоченный АО «ЕДРИД» Котова Е. Д.
Дата выдачи свидетельства: 03.05.2023

Настоящее Свидетельство удостоверяет, что все авторские, исключительные и иные права, на задепонированные в ЕДРИД данные, составляющие результат интеллектуальной деятельности, принадлежат соответствующим лицам, указанным в настоящем Свидетельстве, если не доказано иное. Внимание: Результат интеллектуальной деятельности защищен законодательством Российской Федерации и международными соглашениями. Любое незаконное использование этих данных, а также любой их части, может повлечь за собой различные меры ответственности в соответствии с действующим законодательством.

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж – Справка о внедрении результатов научно-исследовательской работы в учебном процессе

Утверждаю:

Первый проректор

БГТУ им. В.Г. Шухова

д-р техн. наук., проф.

Е.И. Евтушенко

14.08 2023 г



СПРАВКА

о внедрении результатов научно-исследовательской работы в учебном процессе

Теоретические положения диссертационной работы Отман Азми С.А. на тему «Штукатурные растворы на основе композиционного гипсового вяжущего (на примере Палестины) используются в учебном процессе при подготовке студентов бакалавриата, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство» профиля 08.03.01-05 «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»; при подготовке магистров по направлению 08.04.01 «Строительство» профилей: «Эффективные композиты для зеленого строительства, «Эффективные строительные композиты для 3-D аддитивных технологий», «Технология строительных материалов, изделий и конструкций»; при подготовке аспирантов направления 2.1.5 «Строительные материалы и изделия», а также при выполнении выпускных квалификационных работ.

Директор инженерно-строительного
института, д-р техн. наук, профессор

В.А. Уваров.