

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
Высшего образования

Пермский национальный исследовательский
Политехнический университет

Факультет строительный
Направление 08.03.01 «Строительство»
Профиль подготовки «Производство строительных материалов, изделий и конструкций»
Кафедра СИМ

Зав. кафедрой _____
«___» _____ 20__ г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

На тему Исследование свойств штукатурных гипсовых смесей с добавкой
стеклосодержащего компонента

Студент Кустова Вероника Андреевна (_____)

Состав выпускной квалификационной работы:
Пояснительная записка на _____ стр.

Руководитель выпускной
квалификационной работы:

_____ (_____)

Консультант:

_____ (_____)

Нормоконтроль:

_____ (_____)

Пермь 2021 г.

**Пермский национальный исследовательский
Политехнический университет**

Зав. кафедрой СИМ

_____ Харитонов В.А.

ЗАДАНИЕ

на выпускную квалификационную работу бакалавра

Фамилия, имя, отчество _____ Кустова Вероника Андреевна

Факультет _____ Строительный _____ Группа _____ ПСК-17-16

1. Тема: _____ Исследование свойств штукатурных гипсовых смесей с добавкой стеклосодержащего компонента

Утверждена приказом по университету № 418-П от 27 мая _____ 2021 года.

2. Исходные данные к работе:

Гипс строительный марки Г-5 по ГОСТ 125-2018; известь гидратная второго сорта по ГОСТ 9179-2018; стеклосодержащий компонент фр. <0,063 мм; винная кислота; калийсиликатный цемент; начало схватывания смеси: не ранее 30 минут; прочность при сжатии не менее 10 МПа; коэффициент _____ размягчения _____ не _____ менее _____
0,5

3. Содержание пояснительной записки Реферат; Перечень используемых условных обозначений, сокращений, терминов; Введение; Аналитический обзор; Характеристика применяемых материалов и методология исследования; Исследование влияния добавок извести и стеклосодержащего компонента на физико-механические свойства строительного гипса; Исследования свойств гипсовых смесей при введении стеклосодержащего компонента; Технология производства штукатурных гипсовых смесей; Экономический расчет; Заключение; Список использованных источников

4. Основная литература Технология сухих строительных смесей / Ю.М.Баженов [и др.].-М.:АСВ, 2003. – 96 с.; Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / под общ.ред. А.В. Ферронской. – М.: АСВ, 2004. – 488 с.; Сычева, Л.И. Влияние химических добавок на свойства гипсовых штукатурных смесей; Халлиулин, М.И. Штукатурные сухие смеси на основе композиционного _____ гипсового _____ вяжущего _____ повышенной

ВОДОСТОЙКОСТИ

Считаю возможным допустить _____ к защите дипломного проекта.

Руководитель дипломного проекта _____ (_____)

Консультант _____ (_____)

Нормоконтроль _____ (_____)

Допустить _____ к защите дипломного проекта.

Заведующий кафедрой СИМ _____ (Харитонов В.А)

РЕФЕРАТ

В состав выпускной квалификационной работы входит:

- 1) пояснительная записка 75 с., 5 рис., 22 табл., 16 источн.;
- 2) графические (демонстрационные материалы) 15 листов (слайдов).

ГИПСОВОЕ ВЯЖУЩЕЕ, СТЕКЛОСОДЕРЖАЩИЙ КОМПОНЕНТ, ИЗВЕСТИЬ, КАЛИЙСИЛИКАТНЫЙ ЦЕМЕНТ, ВИННАЯ КИСЛОТА, СВОЙСТВА ШТУКАТУРНЫХ ГИПСОВЫХ СМЕСЕЙ

Цель работы: разработка составов и исследование свойств штукатурных гипсовых смесей с добавкой стеклосодержащего компонента.

Объектом исследования является штукатурные смеси на основе композиционного гипсового вяжущего с добавкой стеклосодержащего компонента.

Предмет исследования: технологические и физико-механические свойства композиционного гипсового вяжущего и штукатурных гипсовых смесей.

В процессе работы решались следующие задачи:

1. Ознакомиться с общими теоретическими сведениями о проведённых ранее исследованиях по улучшению свойств гипсовых вяжущих и штукатурных смесей.
2. Провести лабораторные испытания образцов с различным содержанием стеклосодержащего компонента (ССК) и добавок.
3. Провести анализ полученных данных, определить наилучший состав по комплексу физико-механических и технологических свойств.

В ходе выполнения работы получены следующие научные результаты:

1. При введении винной кислоты в количестве 0,1% к гидратной извести (ИГ) 2-4% и ССК 5-10% водопотребность смеси уменьшилась в

среднем с 0,56 до 0,42. При этом сроки схватывания в свою очередь увеличились: начало – с 9.30 до 1 часа 10 минут, конец с 14 минут до 2 часов и более.

2. Установлено, что при введении ССК в количестве 5-10% прочность при сжатии увеличивается с 5 до 11,66 МПа по сравнению с контрольным составом.

3. Показано отрицательное влияние на сцепление с основанием (керамический кирпич) при добавлении калийсиликатного цемента (КСЦ) в количестве 1, 2, 3, 5% в составы, содержащие ССК (5%), известь (4%) и винную кислоту (0,1%). Адгезионная прочность уменьшилась в среднем с 0,47 до 0,23. Данный факт объясняется тем, что винная кислота нейтрализует щелочную среду, создаваемую за счет КСЦ и извести. Происходит снижение гидратационной активности гипса и уменьшение количества образующегося геля кремниевой кислоты при гидратации КСЦ. Добавка КСЦ показывает отрицательный результат и не рекомендуется для применения без соответствующих добавок, способных поддерживать щелочную среду.

4. Наибольшее значение коэффициента размягчения (0,61-0,71) было получено у составов, содержащих ССК 5-10%, известь 2-4%, винную кислоту 0,1%. Состав №10 с содержанием ССК 5%, извести 4%, винной кислоты 0,1% и КСЦ 2% показал наибольшее значение коэффициента размягчения (0,78).

5. Были получены уравнения регрессии второго порядка, отражающие зависимость состава композиционного гипсового вяжущего от прочности при сжатии и коэффициента размягчения.

6. Величина водопоглощения модифицированных составов штукатурных смесей увеличилась незначительно по сравнению с контрольным бездобавочным составом с 13% до 15,83%.

Таким образом, проведенные испытания выявили возможность использования ССК в штукатурных гипсовых смесях в качестве наполнителя.

Оптимальными по комплексу технологических и физико-механических свойств являются составы №5 и №7 с содержанием ССК 10%, гидратной

известны 2-4%. При этом существует необходимость улучшения водоудерживающей способности смесей. Для этого необходимо вводить специальные добавки, например, эфиры целлюлозы, что является предметом дальнейших исследований.

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| ВВЕДЕНИЕ | 10 |
| 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР | 12 |
| 1.1 Характеристика гипсового сырья для производства штукатурных гипсовых смесей..... | 12 |
| 1.2 Повышение свойств гипсовых вяжущих для штукатурных смесей введением химических и минеральных техногенных добавок..... | 13 |
| 1.3 Пористый стеклосодержащий компонент как модификатор гипсового сырья в производстве штукатурных гипсовых смесей | 16 |
| 1.4 Выводы по аналитической части | 18 |
| 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОЛГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ | 20 |
| 2.1 Характеристика применяемых материалов | 20 |
| 2.2 Методология проведения исследований..... | 20 |
| 2.3 Структурно-методологическая схема исследований | 21 |
| 3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ИЗВЕСТИ И СТЕКЛОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА | 22 |
| 4. ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ШТУКАТУРНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКОЙ СТЕКЛОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА..... | 42 |
| 4.1 Определение водопотребности, сроков схватывания и водоудерживающей способности смеси | 42 |
| 4.2 Определение прочности сцепления с основанием (адгезия) | 44 |
| 4.4 Водопоглощение | 48 |
| 4.5 Выводы | 49 |
| 5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШТУКАТУРНЫХ ГИПСОВЫХ СМЕСЕЙ..... | 50 |
| 6. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ | 53 |

| | | |
|-----|---|----|
| 6.1 | Общая характеристика показателей экономической эффективности инвестиционных проектов нововведений..... | 53 |
| 6.2 | Постановка задачи экономического расчета по оценке эффективности внедрения проекта нововведений..... | 56 |
| 6.3 | Расчет капитальных затрат..... | 57 |
| 6.4 | Расчет текущих затрат производства и/или эксплуатации при использовании аналога объекта нововведения..... | 64 |
| 6.5 | Расчет текущих затрат проекта..... | 67 |
| 6.6 | Приведение вариантов аналога и проекта нововведения в сопоставимый вид..... | 69 |
| 6.7 | Расчет показателей экономической эффективности от внедрения проекта нововведения..... | 70 |
| 6.8 | Вывод..... | 71 |
| | ЗАКЛЮЧЕНИЕ..... | 72 |
| | СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ..... | 74 |

ПЕРЕЧЕНЬ ИСПОЛЬЗУЕМЫХ УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ, СОКРАЩЕНИЙ, ТЕРМИНОВ

ССК – стеклосодержащий компонент

ИГ – известь гидратная

КСЦ – калийсиликатный цемент

ВК – винная кислота

ЧДД – чистый дисконтированный доход

ИД – индекс доходности

ВНД – внутренняя норма доходности

СО – срок окупаемости

К – капиталовложения

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время важнейшей задачей строительной индустрии является обеспечение производства эффективными ресурсосберегающими и экологически чистыми материалами. Производство вяжущих веществ на основе гипса нетоксично и требует примерно в 4-5 раз меньше расходов топлива и энергии по сравнению с производством цемента. Однако ввиду недостаточной водостойкости и невысоких прочностных характеристик область применения гипсовых вяжущих и материалов на их основе значительно ограничивается. С целью улучшения показателей качества гипсовых материалов в состав необходимо вводить модифицирующие добавки.

В отечественных разработках все чаще решается вопрос о снижении потребления природного сырья для производства вяжущих веществ и материалов на их основе путем введения в состав смеси техногенных отходов и побочных продуктов различных отраслей промышленности в качестве наполнителей и добавок.

Одной из распространенных областей применения гипсовых вяжущих, решающей проблему «устойчивого развития» является разработка рецептур штукатурных смесей.

Перспективным пористым наполнителем может служить пеностекло, которое в штукатурных смесях целесообразно использовать в измельченном состоянии, либо в виде гранул. Такой материал ввиду нарушения целостности структуры рационально называть стеклосодержащим компонентом.

Таким образом, рациональным представляется использовать стеклосодержащий компонент для разработки составов штукатурных строительных смесей на основе гипсового вяжущего. Кроме того, необходимо расширять область применения пеностекла, что позволит решать задачи в области ресурсосбережения и энергоэффективности строительного материаловедения.

Цель работы заключалась в разработке составов и исследовании свойств штукатурных гипсовых смесей с добавкой стеклосодержащего компонента.

В процессе работы решались следующие задачи:

1. Ознакомиться с общими теоретическими сведениями о проведённых ранее исследованиях по улучшению свойств гипсовых вяжущих.
2. Провести лабораторные испытания образцов различных составов для определения наилучшего состава.
3. Провести анализ полученных данных, определить наилучший состав по комплексу физико-механических и технологических свойств.

1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР

1.1 Характеристика гипсового сырья для производства штукатурных гипсовых смесей

Строительный гипс – воздушное вяжущее вещество, состоящее из полуводного гипса или ангидрита, который получают путем тепловой обработки гипсовой породы, с предварительным или послеобжиговым помолом до порошкообразного состояния. Его химической формула $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (гидрат сульфата кальция).

В зависимости от способа получения гипсовые вяжущие вещества делятся на три основные группы:

- вяжущие, получаемые термической обработкой гипсового сырья: низкообжиговые (обжиговые и варочные) и высокообжиговые: α - или β -полугидрат сульфата кальция (или их смесь), а также растворимый ангидрит (полностью обезвоженный гипс или даже частично диссоциированный ангидрит, содержащий небольшое количество свободного оксида кальция);

- вяжущие, получаемые без термической обработки (безобжиговые): природный ангидрит, для активации твердения вводятся специальные добавки;

- вяжущие, получаемые смешиванием гипсовых вяжущих I или II групп с различными компонентами (известь, портландцемент и его разновидности, активные минеральные добавки, химические добавки и др.).

Основные свойства камня строительного гипса:

1. Тонкость помола – это характеристика дисперсности мелкозернистых материалов.

2. Водопотребность (нормальная густота) – это количество воды, необходимое для получения гипсового теста стандартной консистенции, характеризуется диаметром расплыва гипсового теста, равного 180 ± 5 мм (расплав лепешки определяется на приборе вискозиметр Суттарда).

3. Сроки схватывания – определяются временем от момента затворения гипсового вяжущего водой до начала и конца схватывания, определяемые при помощи прибора Вика.

4. Прочность на изгиб и сжатие – определяют для установления марок стандартных образцов (балочек 4x4x16 см).

Эффективно вводить различные добавки для улучшения свойств конечного продукта.

1.2 Повышение свойств гипсовых вяжущих для штукатурных смесей введением химических и минеральных техногенных добавок

Штукатурные гипсовые смеси находят широкое применение в современном строительстве, но их состав и свойства постоянно совершенствуются, улучшаются и модифицируются с помощью введения различных добавок [1].

Модифицирующие добавки – это прежде всего продукты химического или неорганического происхождения, специально добавляемые в состав смесей для повышения физико-химических характеристик.

Для замедления сроков схватывания гипсового вяжущего применяются такие добавки, как: винная кислота, клеизвестковый замедлитель, сульфитно-дрожжевая бражка, отходы кожевенной промышленности, электролиты, поверхностно-активные вещества и др. [2].

В статье [3] была поставлена цель создания гипсового вяжущего с регулируемыми сроками схватывания на основе строительного быстротвердеющего гипса и добавки, в роли которой был использован дефека́т – отход сахарной промышленности, а также упрощения рецептур сухих гипсовых смесей, технологии их производства и удешевления составов. С добавлением дефека́та срок начала схватывания вяжущего повышается с увеличением содержания данной добавки от 13,5 до 300 минут, при этом прочность уменьшается, но если использовать добавку и гипсовое вяжущее в

соотношении 50:50 в возрасте 7 суток она отвечает требованиям Европейского стандарта для гипсовой штукатурки и равна 2 МПа. При этом сроки схватывания (120 минут) являются общепринятыми для штукатурок.

Авторы работы [4] предложили для повышения прочности сцепления с основанием вводить добавку калийсиликатного цемента (КСЦ). КСЦ обладает высокими адгезионными свойствами к металлу, бетону, керамике и стеклу. Исследования показали, что КСЦ в количестве от 2 до 10% ускоряет сроки схватывания и снижает водоудерживающую способность гипсовой смеси. Результаты определения адгезионных свойств показали, что величина прочности на отрыв к керамическому кирпичу в возрасте 5 суток выше, чем у чистого гипса в 2-5 раз. При оценке результатов было решено добавить в гипсовую смесь КСЦ и винную кислоту (ВК; эффективный замедлитель схватывания гипсового теста в условиях щелочной среды). Прочность на отрыв гипсового вяжущего в присутствии ВК меньше величины прочности на отрыв чистого гипса в 10 раз.

Добавление керамзитовой пыли, строительной извести и суперпластификаторов (С-3, Полипласт СП-1ВП, Полипласт СП-3, MELMENT F15G) в количестве 20%, 5% и 0,5-1% соответственно обеспечивает получение вяжущих с прочностью при сжатии 23-25 МПа и коэффициентом размягчения 0,74-0,78, которые относятся к группе вяжущих повышенной водостойкости [5].

Для модифицирования свойств строительного гипса авторы из научной статьи [6] использовали следующие добавки в строительный гипс: суперпластификатор Melment F15G (0,3; 0,5; 0,7%), винная кислота (0,08; 0,1; 0,4%), Mecellose FMC 7117 (0,1; 0,3; 0,4%). В сравнении с контрольным составом добавка Mecellose FMC 7117 увеличивает водопотребность гипсового теста с 58 до 83% и сроки схватывания на 4-5 минут, а также приводит к снижению прочности гипсового камня (с 11,5 до 2,6 МПа). Добавка суперпластификатора Melment F15G в количестве 0,7% позволяет понизить водопотребность гипсового вяжущего с 58 до 51%, но заметного изменения

сроков схватывания гипсового теста не наблюдается. Винная кислота обладает наибольшим замедляющим эффектом на сроки схватывания.

Авторы [7] в качестве комплексной гидравлической добавки использовали негашеную известь третьего сорта, в качестве тонкомолотого активного минерального компонента применялась керамзитовая пыль, в качестве водоудерживающей применялась добавка высокомолекулярного полиэтиленоксида (PEO-S), в качестве добавки замедлителя схватывания использовалась лимонная кислота. Исследования показали, что прочность при сжатии равна 5-7 МПа, прочность сцепления с основанием – 0,5-0,6 МПа, коэффициент размягчения – 0,65-0,7. Добавление эфира крахмала в полученные составы привело к увеличению прочности при сжатии до 6,2-6,5 МПа, при этом коэффициент размягчения не изменился, прочность сцепления с основанием составила 0,4-0,55 МПа, водоудерживающая способность увеличилась до 98% [8].

В дальнейшем те же авторы решили добавить к существующей смеси гранулированный доменный шлак и метилгидроксипропилцеллюлозу. Время начала схватывания увеличилось до 95 минут, водоудерживающая способность также увеличилась до 99%, предел прочности при сжатии равен 9,7-10,8 МПа, прочность сцепления с основанием 0,55-0,6 МПа, коэффициент размягчения увеличился до 0,86 [9].

В статье [10] силикатный клинкер был использован для модификации гипса для десульфуризации дымовых газов. Затем было изучено влияние количества и размера частиц силикатного клинкера на механические свойства, коэффициент размягчения и водопоглощение модифицированных гипсовых материалов FGD. Результаты показывают, что добавление необходимого количества силикатного клинкера может улучшить водостойкость и механические свойства гипса FGD. Когда было добавлено 6% силикатного клинкера со средним размером частиц 26,83 мкм, прочность на изгиб и сжатие в сухом состоянии гипса FGD составила 5,4 МПа и 10,7 МПа, соответственно, на 80% и 15% выше, чем у чистого гипса FGD, соответственно, а коэффициент

размягчения при изгибе и коэффициент размягчения при сжатии достигли 0,61 и 0,54, что на 52,5% и 58,8% выше, чем у чистого гипса FGD, величина водопоглощения составила 28,5%, на 17% ниже, чем у чистого гипса FGD.

Изучено влияние таурита ТС-Д и белого друсса (кремнезема) на характеристики β -полугидрата гипса [11]. Содержание добавок в количестве 1% способствует повышению прочности на сжатие и водостойкости модифицированных образцов по сравнению с эталонным. Эти исследования показали, что добавки ускоряют скорость гидратации и приводят к образованию плотной и хорошо уплотненной текстуры кристаллов, тем самым придавая гипсовой матрице более высокую прочность и лучшую водостойкость, чем у контрольных материалов.

Таким образом, можно сделать вывод, что перспективным является введение в состав гипсовых вяжущих техногенных минеральных добавок с целью разработки экологичных ресурсо- и энергосберегающих материалов, в частности, штукатурных смесей. Одной из таких добавок является стеклосодержащий компонент (ССК).

1.3 Пористый стеклосодержащий компонент как модификатор гипсового сырья в производстве штукатурных гипсовых смесей

Стеклосодержащий компонент (ССК) представляет собой измельчённое в шаровой мельнице гранулированное пеностекло до фракции менее 0,063 мм. Насыпная плотность измельченного компонента находится в пределах 800-850 кг/м³.

Так как, размер ячеек у пеностекла обычно составляет примерно от 0,5 до 2 мм, то у гранул меньше 0,5 мм ячейки будут мельче, но это для целых гранул. Иными словами «молотое пеностекло» с размером менее 0,5 мм не содержит пеностекла, как газонаполненного материала — такой порошок содержит только обломки стекла, иногда с газовыми включениями в стенках,

поэтому называть его пеностеклом нельзя. Целесообразнее называть такой материал именно «стеклосодержащим».

Такой модификатор позволяет улучшить водостойкость, прочность и теплоизоляционные свойства за счет высокопористой структуры.

Введение добавки стеклосодержащего компонента в количестве 5, 10 и 15% от массы вяжущего показало, что нормальная густота возрастала с 52% до 60% при увеличении содержания ССК. При введении добавки ССК фракции 0,08-0,14 мм в количестве 5% привело к снижению прочности образцов с 12,20 до 9,54 МПа, а при добавлении ССК фракции 0,063-0,14 мм в состав строительного гипса коэффициент размягчения увеличился с 0,42 до 0,48, но при дальнейшем повышении фракции ССК до 4,0 мм отрицательно сказывается на коэффициенте размягчения (снижается в среднем на 11%) [12].

Для создания композиционного гипсового вяжущего использовались стеклосодержащий компонент (ССК) в количестве 10, 20, 30% от массы вяжущего, известь гидратная второго сорта (3, 6, 9%) и винная кислота в количестве 0,2% для замедления сроков схватывания. Совместное введение извести и ССК приводит либо к увеличению прочности при сжатии с 16,4 до 18,08 МПа, либо снижению до 15,54-12,26 МПа. Наилучшие показатели прочности были выявлены у составов, где ССК присутствует в количестве 10-20% и известь 3%. Коэффициент размягчения увеличился во всех случаях по сравнению с контрольным составом [13].

Стоит отметить, что еще одним пористым компонентом, который отчасти можно отнести к стеклосодержащим, является вспученный перлит. Перлит получают путем термической обработки водосодержащего вулканического стекла, при обжиге высокими температурами порода вспучивается и получается нетоксичной, легкой, напоминающей песок серого или белого цвета, без запаха. В свою очередь он имеет ряд преимуществ:

- низкая плотность;
- хорошие звукоизоляционные свойства;
- высокие теплоизоляционные свойства;

- огнеупорность.

На свойства вспученного перлита (в частности на прочность) огромное влияние оказывает плотность породы, крупность вспучиваемого сырья, а также режимы термообработки. Такой вывод сделали авторы из статьи [14].

В публикации [15] наблюдалось уменьшение плотности полученных образцов с 1500 кг/м^3 до 700 кг/м^3 с увеличением количества вспученного перлита, также наблюдалось уменьшение прочности с 2,09 МПа до 0,32 МПа.

Перлит очень хорошо впитывает влагу за счет открытой макроструктуры, поэтому водопоглощение возрастает с уменьшением размера зерен.

Исходя из сказанного, перспективным является выбор стеклосодержащего компонента (ССК), так как этот наполнитель способен улучшить свойства гипсового вяжущего при правильном процентном содержании и также является недостаточно известным для изготовителей. Поэтому, добавление ССК является целесообразным и актуальным.

1.4 Выводы по аналитической части

По результатам аналитической части исследования можно сделать следующие выводы:

1. С применением различных добавок свойства штукатурных гипсовых смесей могут как улучшиться, так и ухудшиться. Зависит все от количества содержания и состава добавок.

2. При постепенном введении керамзитовой пыли, лимонной кислоты, полиэтиленоксида, гранулированного доменного шлака, эфира крахмала и метилгидроксипропилцеллюлозы водоудерживающая способность увеличивается до 98-99%, следовательно, смесь может удерживать в своем составе воду.

3. При введении винной кислоты (ВК) адгезионные свойства смеси меньше в 10 раз, чем у чистого гипса.

4. Введение калийсиликатного цемента (КСЦ) в количестве ...% позволяет увеличить сцепление с керамическим кирпичом у составов, содержащих ССК ..%, известь ...%, винную кислоту 0,1%.

5. Если ввести совместно ВК и КСЦ сцепление с основанием ухудшаются за счет того, что ВК нейтрализует щелочную среду, создаваемую КСЦ.

6. Стеклосодержащий компонент (ССК) увеличивает прочность и коэффициент размягчения в зависимости от процентного содержания и фракции, поэтому при введении ССК в количестве 5% фракции 0,08-0,14 мм привело к снижению прочности образцов с 12,20 до 9,54 МПа, а при ССК в количестве 10-20% повлекло к увеличению прочностных характеристик.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИМЕНЯЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ И МЕТОДОЛГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Характеристика применяемых материалов

Для проведения данного исследования были использованы следующие материалы:

- строительный гипс марки Г-5 по ГОСТ 125-2018;
- известь гидратная второго сорта по ГОСТ 9179-2018;
- стеклосодержащий компонент – бой пеностекла, измельченный в шаровой мельнице до фр.<63 мкм;
- замедлитель схватывания – винная кислота;
- калийсиликатный цемент (КСЦ), представляющий собой обожженную при определенной температуре смесь поташа и кварцевого песка с последующим измельчением до остатка на сите №008 не более 15%.

2.2 Методология проведения исследований

В данной работе определялись свойства по ГОСТ 58276-2018 «Смеси сухие строительные на гипсовом вяжущем. Методы испытаний»: водопотребность, сроки схватывания, водоудерживающая способность, прочность сцепления с основанием (адгезия). В качестве основания использовался кирпич керамический по ГОСТ 530-2012.

Свойства гипсового вяжущего определялись по ГОСТ 23789-2018.

Испытания проводились с добавлением ССК в количестве: 5%, 10%; 15%, 20%; извести: 2%, 4%; винной кислоты: 0,1%; КСЦ: 1%, 2%, 3%, 5%. Винная кислота вводилась как замедлитель схватывания во все составы в количестве 0,1%.

2.3 Структурно-методологическая схема исследований

В соответствии с поставленной целью и задачами в работе была составлена структурно-методологическая схема проведения исследований, представлена на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Структурно-методологическая схема

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ИЗВЕСТИ И СТЕКЛОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА НА ФИЗИКО- МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Цель: построить математическую модель прочности на сжатие и коэффициента размягчения гипса в возрасте 28 суток в зависимости от содержания извести (x_1) и ССК (x_2).

Построить математическую модель прочности на сжатие гипса в возрасте 28 суток марки Г-5 в зависимости от извести (x_1) и ССК (x_2).

В таблице 3.1 представлены условия планирования эксперимента.

Таблица 3.1 – Условия планирования эксперимента

| Факторы | | Уровни варьирования | | | Интервал варьирования |
|-----------------|------------------|------------------------|-----|-----|--------------------------|
| Натуральный вид | Кодированный вид | -1 | 0 | +1 | |
| Известь (X1) | x_1 | 2,0 | 3,0 | 4,0 | 1 |
| ССК (X2) | x_2 | 5 | 7,5 | 10 | 2,5 |

Последовательность расчетов представлена в таблицах 3.2 – 3.9.

Таблица 3.2 – Последовательность расчетов

| Точки плана | Факторы | | Прочность, МПа | | | Среднее значение |
|----------------|---------|-------|----------------|-------|-------|---------------------|
| | X_1 | X_2 | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | -1 | +1 | 12,45 | 13,07 | 10,93 | 12,15 |
| 2 | -1 | -1 | 11,03 | 12,18 | 11,38 | 11,53 |
| 3 | +1 | +1 | 14,02 | 10,34 | 11,51 | 11,96 |
| 4 | +1 | -1 | 12,11 | 10,30 | 10,65 | 11,02 |
| 5 | +1 | 0 | 11,33 | 11,9 | 11,25 | 11,49 |
| 6 | -1 | 0 | 12,42 | 10,95 | 12,13 | 11,83 |

Продолжение таблицы 3.2

| Точки плана | Факторы | | Прочность, МПа | | | Среднее значение |
|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|---------------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | |
| 7 | 0 | +1 | 11,35 | 11,80 | 10,65 | 11,27 |
| 8 | 0 | -1 | 11,84 | 12,31 | 12,01 | 12,05 |
| 9 | 0 | 0 | 11,05 | 12,64 | 11,28 | 11,66 |
| 10 | 0 | 0 | 11,02 | 12,54 | 11,12 | 11,56 |
| 11 | 0 | 0 | 11,50 | 12,34 | 11,45 | 11,76 |
| Сумма | | | | | | 128,28 |

Таблица 3.3 – Последовательность расчетов

| Т. п | Факторы | | Прочность, МПа | | | Ср.знач. \bar{y} | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1^2$ | $\bar{y}x_2^2$ | $\bar{y}x_1x_2$ |
|---------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|-----------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | | |
| 1 | -1 | +1 | 12,45 | 13,07 | 10,93 | 12,15 | -12,15 | +12,15 | +12,15 | -12,15 | |
| 2 | -1 | -1 | 11,03 | 12,18 | 11,38 | 11,53 | -11,53 | -11,53 | +11,53 | +11,53 | |
| 3 | +1 | +1 | 14,02 | 10,34 | 11,51 | 11,96 | +11,96 | +11,96 | +11,96 | +11,96 | |
| 4 | +1 | -1 | 12,11 | 10,30 | 10,65 | 11,02 | +11,02 | -11,02 | +11,02 | -11,02 | |
| 5 | +1 | 0 | 11,33 | 11,9 | 11,25 | 11,49 | +11,49 | 0 | +11,49 | 0 | |

Продолжение таблицы 3.3

| Т. п | Факторы | | Прочность, МПа | | | Ср.знач. \bar{y} | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1^2$ | $\bar{y}x_2^2$ | $\bar{y}x_1x_2$ |
|-------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|-----------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | | |
| 6 | -1 | 0 | 12,42 | 10,95 | 12,13 | 11,83 | -11,83 | 0 | +11,83 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | +1 | 11,35 | 11,80 | 10,65 | 11,27 | 0 | +11,27 | 0 | +11,27 | 0 |
| 8 | 0 | -1 | 11,84 | 12,31 | 12,01 | 12,05 | 0 | -12,05 | 0 | +12,05 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 11,05 | 12,64 | 11,28 | 11,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 11,02 | 12,54 | 11,12 | 11,56 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 11,50 | 12,34 | 11,45 | 11,76 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Сумма | | | | | | 128,28 | -1,04 | 0,78 | 69,98 | 69,98 | 0,32 |

Для двухфакторного эксперимента уравнение регрессии рассчитывается по формуле 3.1:

$$y_i = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_{11} \cdot x_1^2 + b_{22} \cdot x_2^2 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2, \quad (3.1)$$

где b_0 – свободный член уравнения;

b_1, b_2 – коэффициенты для линейных членов уравнений;

b_{11} – коэффициенты парных взаимодействий;

b_{22} – коэффициенты парных взаимодействий;

b_{12} – коэффициенты парных взаимодействий;

x_1, x_2 – значение j -го фактора в u -ом опыте.

Коэффициенты уравнений регрессий определяем по формулам 3.2 – 3.7:

$$b_0 = T_1(O_y) - T_2 \sum_{i=1}^k(iiy) = 0,2632 \cdot 128,28 - 0,1579 \cdot (69,98 + 69,98) = 11,6636 \quad (3.2)$$

$$b_1 = T_3(iy) = 0,1667 \cdot (-1,04) = -0,1734 \quad (3.3)$$

$$b_2 = T_3(iy) = 0,1667 \cdot 0,78 = 0,13 \quad (3.4)$$

$$b_{11} = T_4(iiy) + T_5 \sum_{i=1}^k(iiy) - T_2(O_y) = 0,5 \cdot 69,98 - 0,1053 \cdot (69,98 + 69,98) - 0,1579 \cdot 128,28 = -0,0032 \quad (3.5)$$

$$b_{22} = T_4(iiy) + T_5 \sum_{i=1}^k(iiy) - T_2(O_y) = 0,5 \cdot 69,98 - 0,1053 \cdot (69,98 + 69,98) - 0,1579 \cdot 128,28 = -0,0032 \quad (3.6)$$

$$b_{12} = T_6(ijy) = 0,25 \cdot 0,32 = 0,08, \quad (3.7)$$

где T_1 - T_6 – параметры для расчета коэффициентов уравнений регрессии.

Таблица 3.4 – Последовательность расчетов

| Т.п | Факторы | | Прочность, МПа | | | Ср.знач. | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1x_2$ | $(y-\bar{y}_u)^2$ | | | $\sum S^2_{(y)}$ |
|-----|---------|-------|----------------|-------|-------|----------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|------|------|------------------|
| | X_1 | X_2 | 1 | 2 | 3 | | | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | -1 | +1 | 12,45 | 13,07 | 10,93 | 12,15 | -12,15 | +12,15 | -12,15 | 0,09 | 0,85 | 1,49 | 2,43 |

Продолжение таблицы 3.4

| Т.п | Факторы | | Прочность, МПа | | | Ср.знач. | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1x_2$ | $(y-\bar{y}_u)^2$ | | | $\Sigma S^2_{(y)}$ |
|-----|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|------|-------|--------------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | 1 | 2 | 3 | |
| 2 | -1 | -1 | 11,03 | 12,18 | 11,38 | 11,53 | -11,53 | -11,53 | +11,53 | 0,25 | 0,42 | 0,02 | 0,69 |
| 3 | +1 | +1 | 14,02 | 10,34 | 11,51 | 11,96 | +11,96 | +11,96 | +11,96 | 4,24 | 2,62 | 0,20 | 7,06 |
| 4 | +1 | -1 | 12,11 | 10,30 | 10,65 | 11,02 | +11,02 | -11,02 | -11,02 | 1,19 | 0,52 | 0,14 | 1,85 |
| 5 | +1 | 0 | 11,33 | 11,9 | 11,25 | 11,49 | +11,49 | 0 | 0 | 0,02 | 0,17 | 0,06 | 0,25 |
| 6 | -1 | 0 | 12,42 | 10,95 | 12,13 | 11,83 | -11,83 | 0 | 0 | 0,35 | 0,77 | 0,09 | 1,21 |
| 7 | 0 | +1 | 11,35 | 11,80 | 10,65 | 11,27 | 0 | +11,27 | 0 | 0,01 | 0,28 | 0,38 | 0,67 |
| 8 | 0 | -1 | 11,84 | 12,31 | 12,01 | 12,05 | 0 | -12,05 | 0 | 0,04 | 0,07 | 0,001 | 0,11 |
| 9 | 0 | 0 | 11,05 | 12,64 | 11,28 | 11,66 | 0 | 0 | 0 | 0,37 | 0,96 | 0,14 | 1,47 |
| 10 | 0 | 0 | 11,02 | 12,54 | 11,12 | 11,56 | 0 | 0 | 0 | 0,29 | 0,96 | 0,19 | 1,44 |

Продолжение таблицы 3.4

| Т.п | Факторы | | Прочность, МПа | | | Ср.знач. | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1x_2$ | $(y-\bar{y}_u)^2$ | | | $\Sigma S_{(y)}^2$ |
|--------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|------|------|--------------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 1 | 0 | 0 | 11,50 | 12,34 | 11,45 | 11,76 | 0 | 0 | 0 | 0,07 | 0,34 | 0,09 | 0,5 |
| Сумма | | | | | | 128,28 | -1,04 | 0,78 | 0,32 | | | | 17,68 |

Определяем статические характеристики:

а) дисперсию воспроизводимости рассчитывают по формуле 3.8:

$$S_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_1^{n_0} (y_{0iu} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1} = \frac{0,02}{2} = 0,01 \quad (3.8)$$

б) среднеквадратическое отклонение рассчитывают по формуле 3.9:

$$S_{\{\bar{y}\}} = \sqrt{S_{\{\bar{y}\}}^2} = \sqrt{0,01} = 0,1 \quad (3.9)$$

в) среднеквадратическую ошибку при определении коэффициентов уравнений регрессии определяют по формулам 3.10-3.13:

$$S_{b_0} = T_7 S_{\{\bar{y}\}} = 0,513 \cdot 0,1 = 0,051 \quad (3.10)$$

$$S_{b_i} = T_8 S_{\{\bar{y}\}} = 0,4083 \cdot 0,1 = 0,041 \quad (3.11)$$

$$S_{b_{ii}} = T_9 S_{\{\bar{y}\}} = 0,6282 \cdot 0,1 = 0,063 \quad (3.12)$$

$$S_{b_{ij}} = T_{10}S_{(\bar{y})} = 0,5 \cdot 0,1 = 0,05, \quad (3.13)$$

где T_7-T_{10} – параметры для расчета коэффициентов уравнений регрессии.

г) табличное значение критерия Стьюдента (t_T) при $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $f_y = r-1 = 3-1=2$ равняется 4,3.

Расчетное значение критерия t_p вычисляют по формулам 3.14-3.17:

$$t_{12} = \frac{b_{ij}}{S_{b_{ij}}} = \frac{0,08}{0,05} = 1,6 \quad (3.14)$$

Сравнивая с табличным значением критерия Стьюдента получаем значимое значение, так как $t_{12} > t_T$.

$$t_0 = \frac{b_0}{S_{b_0}} = \frac{11,6636}{0,0513} = 227,36 \quad (3.15)$$

$$t_1 = \frac{b_1}{S_{b_1}} = \frac{-0,1734}{0,041} = -4,25 \quad (3.16)$$

$$t_2 = \frac{b_2}{S_{b_2}} = \frac{0,13}{0,041} = 3,17 \quad (3.17)$$

Сравнивая с табличным значением критерия Стьюдента получаем значимое значение, так как $t_0 > t_T$.

Исходя из расчетов, уравнение регрессии имеет следующий вид (формула 3.18):

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot x_1 + 0,13 \cdot x_2 - 0,0032 \cdot x_1^2 - 0,0032 \cdot x_2^2 \quad (3.18)$$

Проверяем адекватность полученного уравнения регрессии:

а) по уравнению регрессии определяем расчетное среднее значение (Y_R) в каждой строке матрицы.

Для первой строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (-1) + 0,13 \cdot (1) - 0,0032 \cdot (-1)^2 - 0,0032 \cdot 1^2 = 11,96 \text{ МПа}$$

Для второй строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (-1) + 0,13 \cdot (-1) - 0,0032 \cdot (-1)^2 - 0,0032 \cdot (-1)^2 = 11,70 \text{ МПа}$$

Для третьей строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (+1) + 0,13 \cdot (+1) - 0,0032 \cdot 1^2 - 0,0032 \cdot 1^2 = 11,61$$

Для четвертой строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (+1) + 0,13 \cdot (-1) - 0,0032 \cdot (-1)^2 - 0,0032 \cdot 1^2 = 11,35 \text{ МПа}$$

Для пятой строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (+1) + 0,13 \cdot (0) - 0,0032 \cdot 1^2 - 0,0032 \cdot 0^2 = 11,49 \text{ МПа}$$

Для шестой строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (-1) + 0,13 \cdot (0) - 0,0032 \cdot (-1)^2 - \\ -0,0032 \cdot 0^2 = 11,83 \text{ МПа}$$

Для седьмой строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (0) + 0,13 \cdot (+1) - 0,0032 \cdot 0^2 - \\ -0,0032 \cdot 1^2 = 11,79 \text{ МПа}$$

Для восьмой строки определяется по формуле:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (0) + 0,13 \cdot (-1) - 0,0032 \cdot 0^2 - \\ -0,0032 \cdot (-1)^2 = 11,53 \text{ МПа}$$

Для девятой строки определяется по формуле 3.28:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (0) + 0,13 \cdot (0) - 0,0032 \cdot (0)^2 - \\ -0,0032 \cdot 0^2 = 11,66 \text{ МПа}$$

Для десятой строки определяется по формуле 3.29:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (0) + 0,13 \cdot (0) - 0,0032 \cdot (0)^2 - \\ -0,0032 \cdot 0^2 = 11,66 \text{ МПа}$$

Для одиннадцатой строки определяется по формуле 3.30:

$$Y_R = 11,6636 - 0,1734 \cdot (0) + 0,13 \cdot (0) - 0,0032 \cdot (0)^2 - \\ -0,0032 \cdot 0^2 = 11,66 \text{ МПа}$$

Таблица 3.5 – Последовательность расчетов

| Т.п | Факторы | | Прочность, МПа | | | Ср.знач. | Расч.ср. знач. | $(\bar{y} - Y_R)$ | $(\bar{y} - Y_R)^2$ |
|-------|----------------|----------------|----------------|-------|-------|----------|----------------|-------------------|---------------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | -1 | -1 | 12,45 | 13,07 | 10,93 | 12,15 | 11,96 | 0,19 | 0,04 |
| 2 | -1 | +1 | 11,03 | 12,18 | 11,38 | 11,53 | 11,70 | -0,17 | 0,03 |
| 3 | +1 | -1 | 14,02 | 10,34 | 11,51 | 11,96 | 11,61 | 0,35 | 0,12 |
| 4 | +1 | +1 | 12,11 | 10,30 | 10,65 | 11,02 | 11,35 | -0,33 | 0,11 |
| 5 | +1 | 0 | 11,33 | 11,9 | 11,25 | 11,49 | 11,49 | 0 | 0 |
| 6 | -1 | 0 | 12,42 | 10,95 | 12,13 | 11,83 | 11,83 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | +1 | 11,35 | 11,80 | 10,65 | 11,27 | 11,79 | -0,52 | 0,27 |
| 8 | 0 | -1 | 11,84 | 12,31 | 12,01 | 12,05 | 11,53 | 0,52 | 0,27 |
| 9 | 0 | 0 | 11,05 | 12,64 | 11,28 | 11,66 | 11,66 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 11,02 | 12,54 | 11,12 | 11,56 | 11,66 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 11,50 | 12,34 | 11,45 | 11,76 | 11,66 | 0 | 0 |
| Сумма | | | | | | 46,66 | | | 0,84 |

б) определяем дисперсию адекватности по формуле 3.19:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N_1} (\bar{y} - y_u)^2}{N - m} = \frac{0,84}{11 - 5} = 0,14 \quad (3.19)$$

где m – число значимых коэффициентов, в том числе b₀;

N – число опытов.

Табличное значение критерия Фишера F_T = 6,16; расчетное значение критерия Фишера F_p = 4,53.

Уравнение регрессии должно удовлетворять условию:

$F_p < F_T (4,53 < 6,16)$ – уравнение регрессии является адекватным

Результаты и последовательность расчетов для коэффициента размягчения представлены в таблицах 3.6-3.9.

Таблица 3.6 – Последовательность расчетов

| Т.п. | Факторы | | Коэффициент размягчения | | | Ср.знач. |
|-------|----------------|----------------|-------------------------|------|------|----------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | -1 | +1 | 0,31 | 0,39 | 0,44 | 0,38 |
| 2 | -1 | -1 | 0,53 | 0,40 | 0,50 | 0,48 |
| 3 | +1 | +1 | 0,44 | 0,40 | 0,47 | 0,44 |
| 4 | +1 | -1 | 0,44 | 0,52 | 0,50 | 0,49 |
| 5 | +1 | 0 | 0,49 | 0,38 | 0,53 | 0,47 |
| 6 | -1 | 0 | 0,42 | 0,45 | 0,43 | 0,43 |
| 7 | 0 | +1 | 0,52 | 0,46 | 0,48 | 0,49 |
| 8 | 0 | -1 | 0,35 | 0,38 | 0,49 | 0,41 |
| 9 | 0 | 0 | 0,39 | 0,52 | 0,43 | 0,45 |
| 10 | 0 | 0 | 0,48 | 0,47 | 0,49 | 0,48 |
| 11 | 0 | 0 | 0,44 | 0,48 | 0,46 | 0,46 |
| Сумма | | | | | | 4,98 |

Таблица 3.7 - Последовательность расчетов

| Т.п. | Факторы | | Коэффициент размягчения | | | Ср.знач. | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1^2$ | $\bar{y}x_2^2$ | $\bar{y}x_1x_2$ |
|------|----------------|----------------|-------------------------|------|------|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | | |
| 1 | -1 | +1 | 0,31 | 0,39 | 0,44 | 0,38 | -0,38 | +0,38 | +0,38 | +0,38 | -0,38 |

Продолжение таблицы 3.7

| Т.п. | Факторы | | Коэффициент размягчения | | | Ср.знач. | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1^2$ | $\bar{y}x_2^2$ | $\bar{y}x_1x_2$ |
|-------|----------------|----------------|-------------------------|------|------|----------|--------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | | |
| 2 | -1 | -1 | 0,53 | 0,40 | 0,50 | 0,48 | -0,48 | -0,48 | +0,48 | +0,48 | +0,48 |
| 3 | +1 | +1 | 0,44 | 0,40 | 0,47 | 0,44 | +0,44 | +0,44 | +0,44 | +0,44 | +0,44 |
| 4 | +1 | -1 | 0,44 | 0,52 | 0,50 | 0,49 | +0,49 | -0,49 | +0,49 | +0,49 | -0,49 |
| 5 | +1 | 0 | 0,49 | 0,38 | 0,53 | 0,47 | +0,47 | 0 | +0,47 | 0 | 0 |
| 6 | -1 | 0 | 0,42 | 0,45 | 0,43 | 0,43 | -0,43 | 0 | +0,43 | 0 | 0 |
| 7 | 0 | +1 | 0,52 | 0,46 | 0,48 | 0,49 | 0 | +0,49 | 0 | +0,49 | 0 |
| 8 | 0 | -1 | 0,35 | 0,38 | 0,49 | 0,41 | 0 | -0,41 | 0 | +0,41 | 0 |
| 9 | 0 | 0 | 0,39 | 0,52 | 0,43 | 0,45 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 0 | 0,48 | 0,47 | 0,49 | 0,48 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 11 | 0 | 0 | 0,44 | 0,48 | 0,46 | 0,46 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Сумма | | | | | | 4,98 | 0,11 | -0,07 | 2,69 | 2,69 | 0,05 |

Коэффициенты уравнений регрессий определяем по формулам 3.20-3.25:

$$b_0 = T_1(O_y) - T_2 \sum_{i=1}^k (iy) = 0,2632 \cdot 4,98 - 0,1579 \cdot (2,69 + 2,69) = 0,46123 \quad (3.20)$$

$$b_1 = T_3(iy) = 0,1667 \cdot 0,11 = 0,01834 \quad (3.21)$$

$$b_2 = T_3(iy) = 0,1667 \cdot (-0,07) = -0,01167 \quad (3.22)$$

$$b_{11} = T_4(iiy) + T_5 \sum_{i=1}^k(iiy) - T_2(Oy) = 0,5 \cdot 2,69 - 0,1053 \cdot (2,69 + 2,69) - 0,1579 \cdot 4,98 = -0,00786 \quad (3.23)$$

$$b_{22} = T_4(iiy) + T_5 \sum_{i=1}^k(iiy) - T_2(Oy) = 0,5 \cdot 69,98 - 0,1053 \cdot (69,98 + 69,98) - 0,1579 \cdot 4,98 = -0,00786 \quad (3.24)$$

$$b_{12} = T_6(ijy) = 0,25 \cdot 0,32 = 0,0125, \quad (3.25)$$

где T_1 - T_6 – параметры для расчета коэффициентов уравнений регрессии.

Таблица 3.8 - Последовательность расчетов

| Т.п | Факторы | | Коэффициент размягчения | | | Ср.з нач. | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1x_2$ | $(y-\bar{y}_u)^2$ | | | $\sum S^2_{(y)}$ |
|-----|----------------|----------------|-------------------------|------|------|-----------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|--------|--------|------------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | 1 | 2 | 3 | |
| 1 | -1 | +1 | 0,31 | 0,39 | 0,44 | 0,38 | -0,38 | +0,38 | -0,38 | 0,0049 | 0,0001 | 0,0036 | 0,0086 |
| 2 | -1 | -1 | 0,53 | 0,40 | 0,50 | 0,48 | -0,48 | -0,48 | +0,48 | 0,0025 | 0,0064 | 0,0004 | 0,0093 |
| 3 | +1 | +1 | 0,44 | 0,40 | 0,47 | 0,44 | +0,44 | +0,44 | +0,44 | 0 | 0,0016 | 0,0009 | 0,0025 |
| 4 | +1 | -1 | 0,44 | 0,52 | 0,50 | 0,49 | +0,49 | -0,49 | -0,49 | 0,0025 | 0,0009 | 0,0001 | 0,0035 |
| 5 | +1 | 0 | 0,49 | 0,38 | 0,53 | 0,47 | +0,47 | 0 | 0 | 0,0004 | 0,008 | 0,004 | 0,0124 |
| 6 | -1 | 0 | 0,42 | 0,45 | 0,43 | 0,43 | -0,43 | 0 | 0 | 0,0001 | 0,0004 | 0 | 0,0005 |

Продолжение таблицы 3.8

| Т п | Факторы | | Коэффициент размягчения | | | Ср.з нач. | $\bar{y}x_1$ | $\bar{y}x_2$ | $\bar{y}x_1x_2$ | $(y-\bar{y}_u)^2$ | | | $\sum S_{(y)}^2$ |
|--------|----------------|----------------|----------------------------|------|------|--------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------|--------|--------|------------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | | 1 | 2 | 3 | |
| 7 | 0 | +1 | 0,52 | 0,46 | 0,48 | 0,49 | 0 | +0,49 | 0 | 0,0009 | 0,0009 | 0,0001 | 0,002 |
| 8 | 0 | -1 | 0,35 | 0,38 | 0,49 | 0,41 | 0 | -0,41 | 0 | 0,004 | 0,0009 | 0,006 | 0,011 |
| 9 | 0 | 0 | 0,39 | 0,52 | 0,43 | 0,45 | 0 | 0 | 0 | 0,004 | 0,005 | 0,0004 | 0,009 |
| 10 | 0 | 0 | 0,48 | 0,47 | 0,49 | 0,48 | 0 | 0 | 0 | 0,0001 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0009 |
| 11 | 0 | 0 | 0,44 | 0,48 | 0,46 | 0,46 | 0 | 0 | 0 | 0,0004 | 0,0004 | 0 | 0,0008 |
| Сумма | | | | | | 4,98 | 0,11 | -0,07 | -0,05 | | | | 0,024 |

Определяем статические характеристики:

а) дисперсию воспроизводимости рассчитаем по формуле 3.26:

$$S_{\{\bar{y}\}}^2 = \frac{\sum_1^{n_0} (y_{0iu} - \bar{y}_0)^2}{n_0 - 1} = \frac{0,024}{2} = 0,008 \quad (3.26)$$

б) среднеквадратическое отклонение рассчитываем по формуле 3.27:

$$S_{\{\bar{y}\}} = \sqrt{S_{\{\bar{y}\}}^2} = \sqrt{0,008} = 0,09 \quad (3.27)$$

в) среднеквадратическую ошибку при определении коэффициентов уравнений регрессии рассчитываем по формулам 3.28-3.31:

$$S_{b_0} = T_7 S_{(\bar{y})} = 0,513 \cdot 0,09 = 0,046 \quad (3.28)$$

$$S_{b_i} = T_8 S_{(\bar{y})} = 0,4083 \cdot 0,09 = 0,037 \quad (3.29)$$

$$S_{b_{ii}} = T_9 S_{(\bar{y})} = 0,6282 \cdot 0,09 = 0,056 \quad (3.30)$$

$$S_{b_{ij}} = T_{10} S_{(\bar{y})} = 0,5 \cdot 0,09 = 0,045, \quad (3.31)$$

где T_7 - T_{10} – параметры для расчета коэффициента уравнений регрессии.

г) табличное значение критерия Стьюдента (t_T) при $\alpha=0,05$ и числе степеней свободы $f_y = r-1 = 3-1 = 2$ равняется 4,3.

Расчетное значение критерия t_p вычисляют по формулам 3.32-3.35:

$$t_{12} = \frac{b_{ij}}{S_{b_{ij}}} = \frac{0,0125}{0,045} = 0,28 \quad (3.32)$$

Сравнивая с табличным значением критерия Стьюдента получаем незначимое значение, так как $t_{12} < t_T$.

$$t_0 = \frac{b_0}{S_{b_0}} = \frac{0,46123}{0,046} = 10,03 \quad (3.33)$$

$$t_1 = \frac{b_1}{S_{b_1}} = \frac{0,01834}{0,037} = 0,49 \quad (3.34)$$

$$t_2 = \frac{b_2}{S_{b_2}} = \frac{-0,01167}{0,037} = 0,315 \quad (3.35)$$

Сравнивая с табличным значением критерия получаем значимое значение, так как $t_0 > t_r$.

Уравнение регрессии имеет следующий вид (формула 3.36):

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot x_1 - 0,01167 \cdot x_2 + 0,0125 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0,00786 \cdot x_1^2 - 0,00786 \cdot x_2^2 \quad (3.36)$$

Проверяем адекватность полученного уравнения регрессии:

а) по уравнению регрессии определяем расчетное значение Y_R в каждой строке матрицы.

Для первой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot (-1) - 0,01167 \cdot 1 + 0,0125 \cdot (-1) \cdot 1 - 0,00786 \cdot (-1)^2 - 0,00786 \cdot 1 = 0,40$$

Для второй строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot (-1) - 0,01167 \cdot (-1) + 0,0125 \cdot (-1) \cdot (-1) - 0,00786 \cdot (-1)^2 - 0,00786 \cdot (-1)^2 = 0,45$$

Для третьей строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 1 - 0,01167 \cdot 1 + 0,0125 \cdot 1 \cdot 1 - 0,00786 \cdot 1^2 - 0,00786 \cdot 1^2 = 0,46$$

Для четвертой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 1 - 0,01167 \cdot (-1) + 0,0125 \cdot 1 \cdot (-1) - 0,00786 \cdot 1^2 - 0,00786 \cdot (-1)^2 = 0,46$$

Для пятой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 1 - 0,01167 \cdot 0 + 0,0125 \cdot 1 \cdot \\ \cdot 0 - 0,00786 \cdot 1^2 - 0,00786 \cdot 0^2 = 0,47$$

Для шестой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot (-1) - 0,01167 \cdot 0 + 0,0125 \cdot (-1) \cdot \\ \cdot 0 - 0,00786 \cdot (-1)^2 - 0,00786 \cdot 0^2 = 0,44$$

Для седьмой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 0 - 0,01167 \cdot 1 + 0,0125 \cdot 0 \cdot \\ \cdot 1 - 0,00786 \cdot 1^2 - 0,00786 \cdot 0^2 = 0,44$$

Для восьмой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 0 - 0,01167 \cdot (-1) + 0,0125 \cdot 0 \cdot \\ \cdot (-1) - 0,00786 \cdot 0^2 - 0,00786 \cdot (-1)^2 = 0,47$$

Для девятой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 0 - 0,01167 \cdot 0 + 0,0125 \cdot 0 \cdot \\ \cdot 0 - 0,00786 \cdot 0^2 - 0,00786 \cdot 0^2 = 0,46$$

Для десятой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 0 - 0,01167 \cdot 0 + 0,0125 \cdot 0 \cdot \\ \cdot 0 - 0,00786 \cdot 0^2 - 0,00786 \cdot 0^2 = 0,46$$

Для одиннадцатой строки по формуле:

$$Y_k = 0,46123 + 0,01834 \cdot 0 - 0,01167 \cdot 0 + 0,0125 \cdot 0 \cdot 0 - 0,00786 \cdot 0^2 - 0,00786 \cdot 0^2 = 0,46$$

Таблица 3.9 - Последовательность расчетов

| Т.п | Факторы | | Коэффициент размягчения | | | Ср.знач. | Расч.ср. знач. | $(\bar{y} - Y_R)$ | $(\bar{y} - Y_R)^2$ |
|-------|----------------|----------------|-------------------------|------|------|----------|----------------|-------------------|---------------------|
| | X ₁ | X ₂ | 1 | 2 | 3 | | | | |
| 1 | -1 | +1 | 0,31 | 0,39 | 0,44 | 0,38 | 0,40 | -0,02 | 0,0004 |
| 2 | -1 | -1 | 0,53 | 0,40 | 0,50 | 0,48 | 0,45 | 0,03 | 0,0009 |
| 3 | +1 | +1 | 0,44 | 0,40 | 0,47 | 0,44 | 0,46 | -0,02 | 0,0004 |
| 4 | +1 | -1 | 0,44 | 0,52 | 0,50 | 0,49 | 0,46 | 0,03 | 0,0009 |
| 5 | +1 | 0 | 0,49 | 0,38 | 0,53 | 0,47 | 0,47 | 0 | 0 |
| 6 | -1 | 0 | 0,42 | 0,45 | 0,43 | 0,43 | 0,44 | -0,01 | 0,0001 |
| 7 | 0 | +1 | 0,52 | 0,46 | 0,48 | 0,49 | 0,44 | 0,05 | 0,0025 |
| 8 | 0 | -1 | 0,35 | 0,38 | 0,49 | 0,41 | 0,47 | -0,06 | 0,0036 |
| 9 | 0 | 0 | 0,39 | 0,52 | 0,43 | 0,45 | 0,46 | -0,01 | 0,0001 |
| 10 | 0 | 0 | 0,48 | 0,47 | 0,49 | 0,48 | 0,46 | 0,02 | 0,0004 |
| 11 | 0 | 0 | 0,44 | 0,48 | 0,46 | 0,46 | 0,46 | 0 | 0 |
| Сумма | | | | | | 4,98 | | | 0,0093 |

б) определяем дисперсию адекватности по формуле 3.37:

$$S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^{N_1} (\bar{y} - y_u)^2}{N - m} = \frac{0,0093}{11 - 6} = 0,002, \quad (3.37)$$

где m – число значимых коэффициентов;

N – число опытов.

Табличное значение критерия Фишера $F_T = 9,01$; расчетное значение критерия Фишера $F_p = 7,33$.

Уравнение регрессии должно удовлетворять условию:

$F_p < F_T$ ($7,33 < 9,01$) – уравнение регрессии является адекватным.

Зависимость между прочностью и содержанием добавок в строительном гипсе представлена на рисунке 3.1.

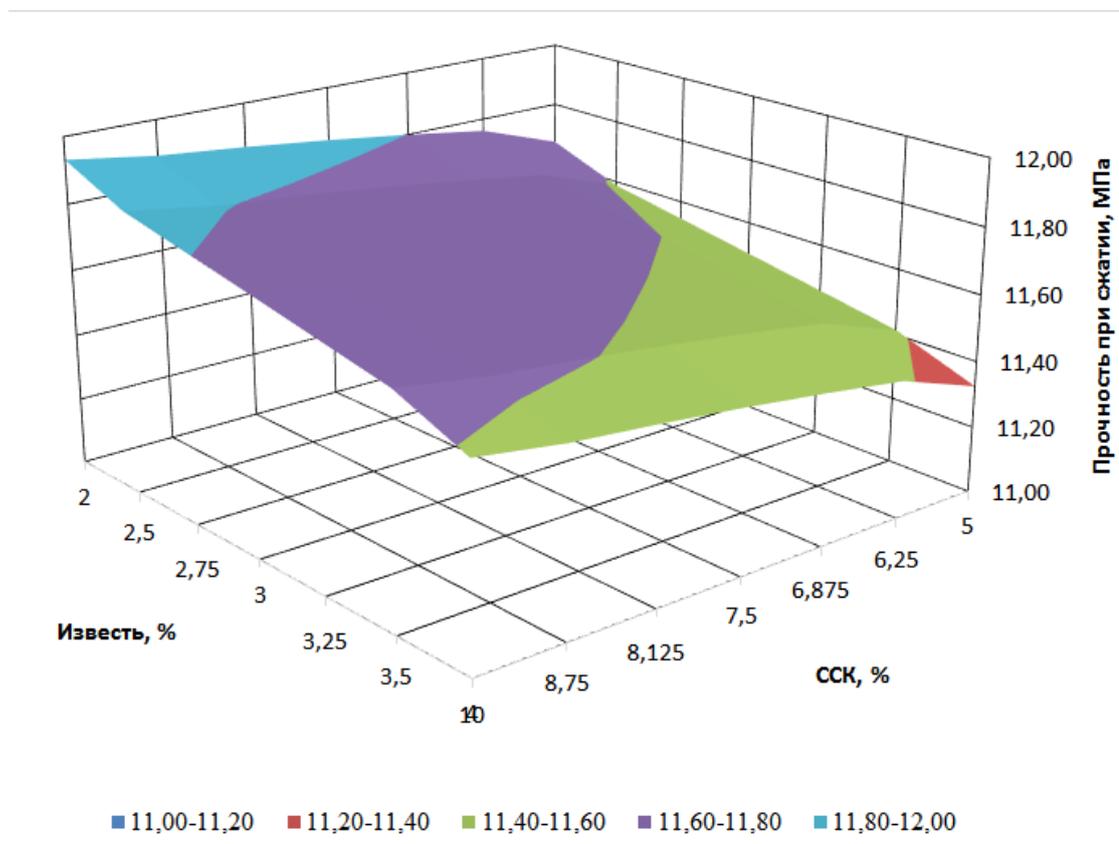


Рисунок 3.1 – Зависимость прочности от состава

Зависимость между коэффициентом размягчения и содержанием добавок в строительном гипсе представлена на рисунке 3.2.

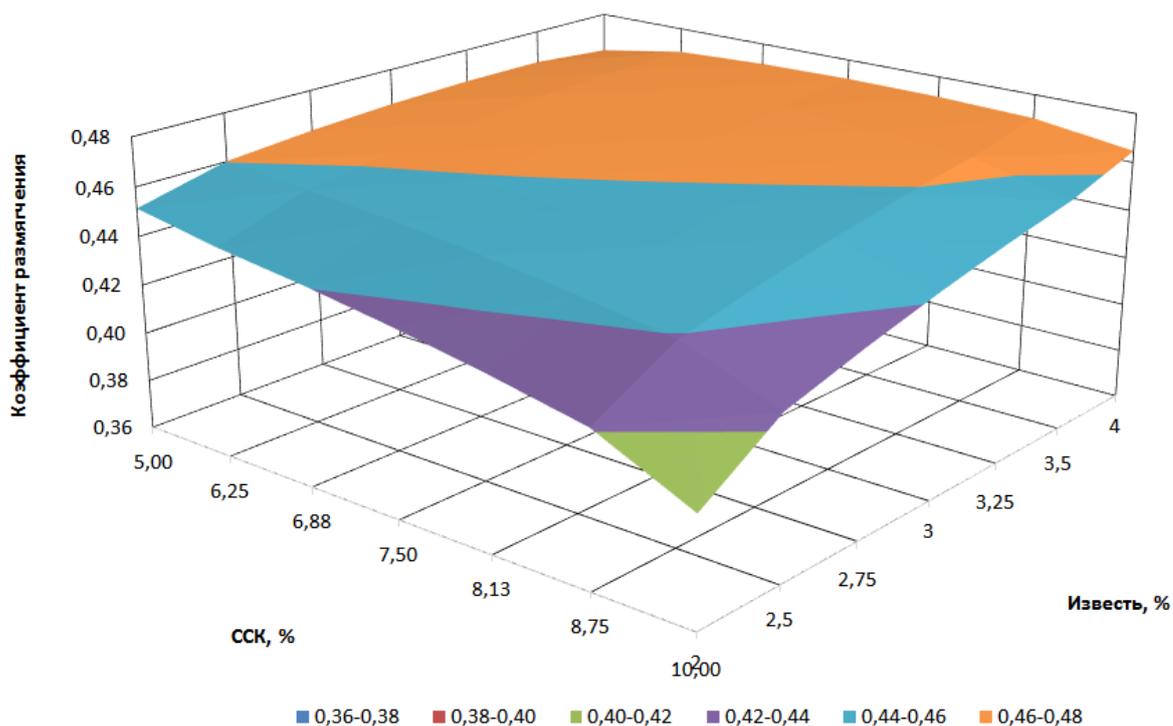


Рисунок 3.2 – Зависимость коэффициента размягчения от состава

В ходе проведенного исследования было выявлено, что оптимальным является состав №2 с содержанием И=2% и ССК=5%. Состав показал относительно высокое значение коэффициента размягчения (0,48) по сравнению с другими составами, но не удовлетворяющее значению коэффициента размягчения для водостойких материалов, что свидетельствует о том, что известь и стеклосодержащий компонент незначительно повлияли на повышение водостойкости.

4. ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ШТУКАТУРНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИОННОГО ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКОЙ СТЕКЛОСОДЕРЖАЩЕГО КОМПОНЕНТА

4.1 Определение водопотребности, сроков схватывания и водоудерживающей способности смеси

В работе было исследовано 12 составов. Результаты водопотребности, сроков схватывания и водоудерживающей способности представлены в таблицах (4.1-4.3).

Таблица 4.1 – Водопотребность смеси

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | КСЦ, % | Водопотребность |
|------------|-----------|------------|----------------------|--------|-----------------|
| Состав №1 | 10 | 2 | - | - | 0,56 |
| Состав №2 | 5 | 2 | - | - | 0,56 |
| Состав №3 | 10 | 4 | - | - | 0,557 |
| Состав №4 | 5 | 4 | - | - | 0,555 |
| Состав №5 | 10 | 2 | 0,1 | - | 0,42 |
| Состав №6 | 5 | 2 | 0,1 | - | 0,42 |
| Состав №7 | 10 | 4 | 0,1 | - | 0,42 |
| Состав №8 | 5 | 4 | 0,1 | - | 0,42 |
| Состав №9 | 5 | 4 | 0,1 | 1 | 0,385 |
| Состав №10 | 5 | 4 | 0,1 | 2 | 0,39 |
| Состав №11 | 5 | 4 | 0,1 | 3 | 0,40 |
| Состав №12 | 5 | 4 | 0,1 | 5 | 0,41 |

Из данных видно, что с постепенным добавлением добавок водопотребность уменьшается. Наименьшие показатели водопотребности у составов №9 и №10, содержащих ССК в количестве 5%, известь (4%), винную кислоту (0,1%), КСЦ в количестве 1% и 2% соответственно. Увеличение содержания извести не значительно влияет на водопотребность.

Таблица 4.2 – Сроки схватывания гипсового теста

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | КСЦ, % | Сроки схватывания, мин |
|------------|-----------|------------|----------------------|--------|--|
| Состав №1 | 10 | 2 | - | - | Нач. 11.00 Кон. 19.30 |
| Состав №2 | 5 | 2 | - | - | Нач. 10.30 Кон. 17.30 |
| Состав №3 | 10 | 4 | - | - | Нач. 9.30 Кон. 14.00 |
| Состав №4 | 5 | 4 | - | - | Нач. 10.00 Кон. 16.30 |
| Состав №5 | 10 | 2 | 0,1 | - | Нач. 1 ч. 15 мин Жизнесп. 1 ч. 30 мин |
| Состав №6 | 5 | 2 | 0,1 | - | Нач. 1 ч. 20 мин Жизнесп. 1 ч. 45 мин |
| Состав №7 | 10 | 4 | 0,1 | - | Нач. 1 ч. 10 мин Жизнесп. 1 ч. 25 мин |
| Состав №8 | 5 | 4 | 0,1 | - | Нач. 1 ч. 15 мин Жизнесп. 1 ч. 30 мин |
| Состав №9 | 5 | 4 | 0,1 | 1 | Нач. 42 мин Жизнесп. 1 ч. 7 мин |
| Состав №10 | 5 | 4 | 0,1 | 2 | Нач. 32 мин Жизнесп. 47 мин |
| Состав №11 | 5 | 4 | 0,1 | 3 | Нач. 37 мин Жизнесп. 52 мин |
| Состав №12 | 5 | 4 | 0,1 | 5 | Нач. 31 мин Жизнесп. 38 мин |

В составы №1-4 вводилась винная кислота, как замедлитель схватывания гипсового вяжущего. Из данных видно, что начало схватывания увеличилось с 9.30 минут до 80 минут, конец схватывания при этом составил не менее 2 часов.

В дальнейшем добавлялся калийсиликатный цемент (КСЦ). По сравнению с составами, в которых дополнительно к извести и ССК вводилась

только винная кислота сроки схватывания уменьшились. Начало схватывания с 80 минут до 31 минуты, жизнеспособность смеси со 105 минут до 38 минут.

Таблица 4.3 – Определение водоудерживающей способности

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | КСЦ, % | W, % |
|------------|-----------|------------|----------------------|--------|-------|
| Состав №1 | 10 | 2 | - | - | 88,30 |
| Состав №2 | 5 | 2 | - | - | 86,70 |
| Состав №3 | 10 | 4 | - | - | 88,10 |
| Состав №4 | 5 | 4 | - | - | 80,90 |
| Состав №5 | 10 | 2 | 0,1 | - | 88,00 |
| Состав №6 | 5 | 2 | 0,1 | - | 89,15 |
| Состав №7 | 10 | 4 | 0,1 | - | 85,40 |
| Состав №8 | 5 | 4 | 0,1 | - | 88,85 |
| Состав №9 | 5 | 4 | 0,1 | 1 | 82,43 |
| Состав №10 | 5 | 4 | 0,1 | 2 | 89,35 |
| Состав №11 | 5 | 4 | 0,1 | 3 | 88,62 |
| Состав №12 | 5 | 4 | 0,1 | 5 | 89,97 |

Составы №6, 10, 12 показали наибольшую водоудерживающую способность, значит, по сравнению с другими составами они лучше удерживают влагу.

Введение КСЦ положительно влияет на водоудерживающую способность, но значительно сокращает сроки схватывания.

4.2 Определение прочности сцепления с основанием (адгезия)

В качестве основания в работе использовался керамический кирпич.

Результаты определения адгезии штукатурной смеси представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Определение адгезии

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | КСЦ, % | Среднее значение, МПа |
|-----------|--------|------------|-------------------|--------|-----------------------|
| Состав №5 | 10 | 2 | 0,1 | - | 0,47 |
| Состав №6 | 5 | 2 | 0,1 | - | 0,53 |
| Состав №7 | 10 | 4 | 0,1 | - | 0,46 |
| Состав №8 | 5 | 4 | 0,1 | - | 0,43 |

Для проверки гипотезы влияния КСЦ на адгезионную прочность выбрали наименьшее значение сцепления с основанием (состав №8). Результаты представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Определение адгезии с введением КСЦ

| | | | | | |
|------------|---|---|-----|---|------|
| Состав №9 | 5 | 4 | 0,1 | 1 | 0,32 |
| Состав №10 | 5 | 4 | 0,1 | 2 | 0,21 |
| Состав №11 | 5 | 4 | 0,1 | 3 | 0,17 |
| Состав №12 | 5 | 4 | 0,1 | 5 | 0,21 |

Как видно из таблицы 4.5, при введении КСЦ адгезия снизилась до 0,17-0,21 МПа. Данный факт можно объяснить тем, что винная кислота нейтрализует щелочную среду, создаваемую за счет КСЦ и извести. Происходит снижение гидратационной активности гипса и уменьшение количества образующегося геля кремниевой кислоты при гидратации КСЦ. Таким образом, для данных составов добавка КСЦ показывает отрицательный результат и не рекомендуется для применения без соответствующих добавок, способных поддерживать щелочную среду.

4.3 Определение прочности и водостойкости

Результаты прочности на изгиб и сжатии представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Определение прочности на изгиб и сжатии

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | КСЦ, % | R _{изг} , МПа | R _{сж} , МПа |
|------------|--------|------------|-------------------|--------|------------------------|-----------------------|
| Состав №1 | 10 | 2 | - | - | 4,92 | 12,15 |
| Состав №2 | 5 | 2 | - | - | 4,67 | 11,53 |
| Состав №3 | 10 | 4 | - | - | 4,85 | 11,96 |
| Состав №4 | 5 | 4 | - | - | 4,75 | 11,02 |
| Состав №5 | 10 | 2 | 0,1 | - | 3,42 | 11,16 |
| Состав №6 | 5 | 2 | 0,1 | - | 4,62 | 14,35 |
| Состав №7 | 10 | 4 | 0,1 | - | 3,72 | 14,89 |
| Состав №8 | 5 | 4 | 0,1 | - | 3,79 | 15,05 |
| Состав №9 | 5 | 4 | 0,1 | 1 | 4,03 | 14,61 |
| Состав №10 | 5 | 4 | 0,1 | 2 | 3,51 | 10,28 |
| Состав №11 | 5 | 4 | 0,1 | 3 | 3,22 | 12,36 |
| Состав №12 | 5 | 4 | 0,1 | 5 | 3,28 | 8,36 |

Наименьшее значение прочности при сжатии показал состав №12 (8,36 МПа). Наибольшие показатели прочности при сжатии у составов №6-9, в содержании которых есть винная кислота (14,35-15,05 МПа). Прочность на изгиб составов №5-12 показала низкие значения по сравнению с составами №1-4 на 22,9%.

Результаты прочности на изгиб и сжатии с содержанием ССК 15 и 20 % представлены в таблице (4.6).

Таблица 4.7 – Определение прочности на изгиб и сжатии с увеличением ССК

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | R _{изг} , МПа | R _{сж} , МПа |
|------------|--------|------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| Состав №13 | 15 | 2 | 0,1 | 4,11 | 12,83 |
| Состав №14 | 20 | 4 | 0,1 | 3,52 | 12,00 |
| Состав №15 | 20 | 2 | 0,1 | 4,07 | 13,48 |

Прочность при сжатии возросла с 12,83 до 13,48 МПа при увеличении стеклосодержащего компонента (ССК) с 15 до 20% и неизменном количестве

известии (2%). Это означает, что ССК положительно влияет на прочностные характеристики гипсового камня. При этом прочность на изгиб показала у состава №13 (ССК=15%, ИГ=2%, ВК=0,1%) наивысшее значение.

Результаты коэффициента размягчения представлены в таблице (4.7).

Таблица 4.8 – Коэффициент размягчения

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | КСЦ, % | к _{разм} |
|------------|--------|------------|-------------------|--------|-------------------|
| Состав №1 | 10 | 2 | - | - | 0,38 |
| Состав №2 | 5 | 2 | - | - | 0,48 |
| Состав №3 | 10 | 4 | - | - | 0,44 |
| Состав №4 | 5 | 4 | - | - | 0,49 |
| Состав №5 | 10 | 2 | 0,1 | - | 0,71 |
| Состав №6 | 5 | 2 | 0,1 | - | 0,53 |
| Состав №7 | 10 | 4 | 0,1 | - | 0,61 |
| Состав №8 | 5 | 4 | 0,1 | - | 0,56 |
| Состав №9 | 5 | 4 | 0,1 | 1 | 0,57 |
| Состав №10 | 5 | 4 | 0,1 | 2 | 0,78 |
| Состав №11 | 5 | 4 | 0,1 | 3 | 0,52 |
| Состав №12 | 5 | 4 | 0,1 | 5 | 0,59 |

Как видно из таблицы 4.7, значительное повышение коэффициента размягчения наблюдается при введении в состав гипсового вяжущего известии и винной кислоты. КСЦ незначительно повлиял на водостойкость, но в целом можно отметить, что КСЦ не оказывает отрицательного воздействия на коэффициент размягчения.

Результаты коэффициента размягчения с увеличением ССК представлены в таблице (4.8).

Таблица 4.9 – Коэффициент размягчения с увеличением ССК

| | ССК, % | Известь, % | Винная кислота, % | к _{разм} |
|------------|--------|------------|-------------------|-------------------|
| Состав №13 | 15 | 2 | 0,1 | 0,68 |
| Состав №14 | 20 | 4 | 0,1 | 0,61 |
| Состав №15 | 20 | 2 | 0,1 | 0,55 |

Данные таблицы 4.8 показали, что при увеличении ССК с 15 до 20% и неизменном количестве извести (2%) коэффициент размягчения уменьшается с 0,68 до 0,55.

Таким образом, наилучшие значения коэффициента размягчения показали составы №5, 7 и №10. Данные составы можно отнести к материалам с повышенной водостойкостью и применять в помещениях с повышенной влажностью.

4.4 Водопоглощение

Водопоглощение образцов W_m (%) определяется по формуле (4.1):

$$W_m = \frac{m_b - m_{\text{сух}}}{m_{\text{сух}}} \cdot 100\% \quad (4.1)$$

где m_b – масса образца после насыщения водой, г,

$m_{\text{сух}}$ – масса образца в сухом состоянии, г.

Результаты представлены в таблице (4.9).

Таблица 4.10 – Водопоглощение

| Состав | $m_{\text{сух}}$, Г | m_b , Г | W_m , % |
|--|----------------------|-----------|-----------|
| Контрольный состав (без добавок) | - | - | 13,00 |
| 1 состав И=2% ССК=10% ВК=0,1% | 1422,09 | 1645,82 | 15,73 |
| 2 состав И=2% ССК=5% ВК=0,1% | 1377,27 | 1600,91 | 16,24 |
| 3 состав И=4% ССК=10% ВК=0,1% | 1407,32 | 1633,37 | 16,06 |

Продолжение таблицы 4.10

| Состав | $m_{\text{сух}}, \text{Г}$ | $m_{\text{в}}, \text{Г}$ | $W_{\text{м}}, \%$ |
|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|--------------------|
| 4 состав И=4% ССК=5% ВК=0,1% | 1425,47 | 1643,24 | 15,28 |

Величина водопоглощения модифицированных составов штукатурных смесей увеличилась в среднем незначительно по сравнению с контрольным бездобавочным составом с 13% до 15,83%.

4.5 Выводы

В результате проведенных испытаний была выявлена возможность использования ССК в штукатурных гипсовых смесях в качестве наполнителя. ССК в сочетании с известью хуже влияет на водостойкость по сравнению с составами, в которых присутствует КСЦ и винная кислота, но при этом сроки схватывания происходят быстрее. В данных составах прочность на изгиб выше, чем у остальных.

При введении КСЦ к ССК и извести часть показателей ухудшились. Адгезионные свойства уменьшились в среднем на 51,06%, что говорит о том, что КСЦ не целесообразно использовать в целях увеличения сцепления с основанием в данных составах. При добавлении КСЦ в количестве 5% прочность при сжатии также ухудшилась по сравнению с другими составами (8,36 МПа).

КСЦ не целесообразно использовать в данных составах, но при этом существует необходимость улучшения водоудерживающей способности смесей. Для этого необходимо вводить водоудерживающие добавки, что является предметом дальнейшего исследования.

5. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА ШТУКАТУРНЫХ ГИПСОВЫХ СМЕСЕЙ

Технология производства сухих гипсовых смесей заключается в сушке и подборе нужного фракционного состава заполнителей и минеральных наполнителей, складировании и хранении компонентов, дозировке в смеситель, упаковке готовой продукции.

Основным аппаратом технологического процесса является смеситель, он способен перемалывать и распределять по объему вещества в текучей среде.

На предприятии производства сухих смесей используется следующее оборудование:

1. Оборудование для подготовки заполнителей и наполнителей – сушка и разделение сырья на фракции;
2. Силосы для хранения вяжущих веществ (гипс, известь), оборудованный фильтрами и установкой для забора пыли и примесей из воздуха;
3. Смеситель для компонентов смеси;
4. Упаковщики, которые наполняют мешки готовой смесью.

В процессе смешивания компонентов для сухих строительных смесей частицы движутся в различных направлениях, это объясняется тем, что на них воздействуют силы отличные друг от друга. На процедуру смешивания влияет конструкция смесителя и сам процесс. Более подробно эту процедуру описали зарубежные ученые, они выделили пять основных подпроцессов в процессе смешивания компонентов:

1. Срезающее смешивание, представляющее собой образование в массе слои скользящие друг по другу;
2. Конвективное смешивание – перемещение групп частиц из одного положения в другое;

3. Диффузионное смешивание – процесс изменения позиции отдельными частицами слоя;

4. Ударное смешивание – рассеивание единичных частиц при столкновении или ударах о стенки смесителя;

5. Измельчение – деформация и растирание слоя порционно.

Существуют горизонтальные и наклонные барабанные смесители. В горизонтальных смесителях ось вращения совпадает с продольной осью аппарата. Барабанные смесители с ребристой внутренней поверхностью преимущественно используются при тенденции к слеживанию компонентов смеси. В таких смесителях материал не только пересыпается, а также срезается ребрами, что приводит к измельчению комков.

Подготовительное отделение представляет собой склад наполнителей и заполнителей, транспортные средства и бункера, которые заполняются с помощью пневмотранспорта. Добавки загружаются вручную и поступают на склад в мешках, бочках или ведрах.

Схема производства сухой гипсовой штукатурной смеси представлена на рисунке 5.1.

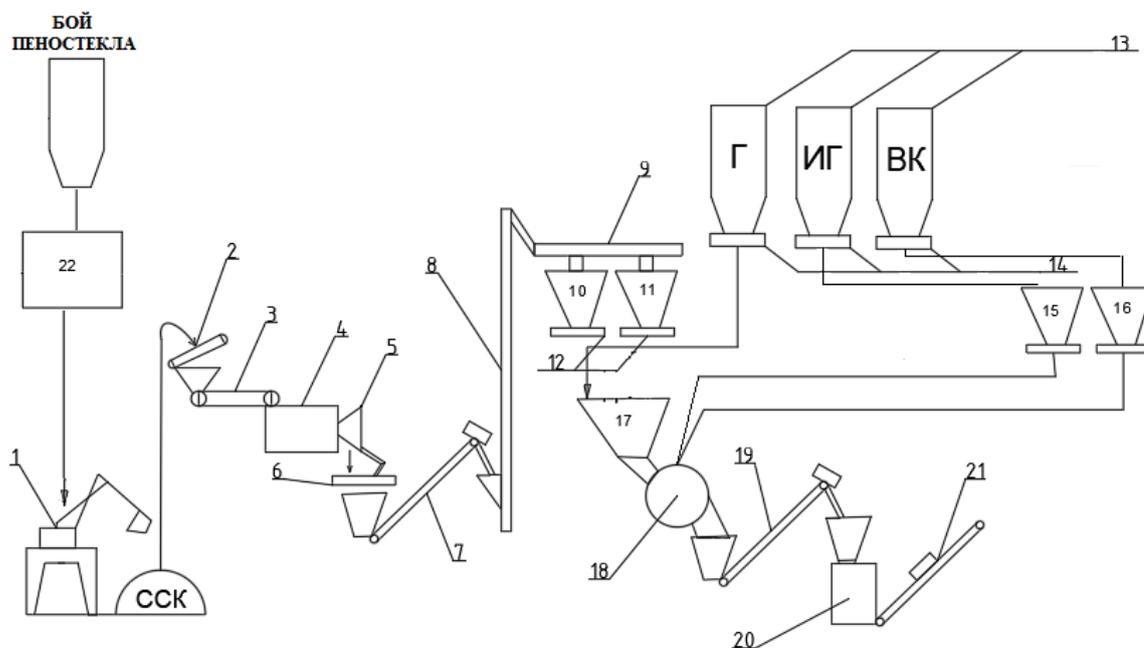


Рисунок 5.1 – Технологическая схема:

1 – грейферный погрузчик; 2 – виброгрохот; 3 – питатель ленточный; 4 – сушильный барабан; 5 – барабанный грохот; 6 – вибропитатель; 7 – вертикальный шнек; 8 – элеватор; 9 – вибросито; 10 – бункер ССК нужной фракции; 11 – бункер крупного ССК; 12 – винтовые питатели; 13 – склад вяжущего и добавок; 14 – винтовые питатели; 15 – дозатор ИГ; 16 – дозатор ВК; 17 – дозатор гипса; 18 – смеситель; 19 – вертикальный шнек; 20 – затарочная машина; 21 – ленточный конвейер; 22 – шаровая мельница.

Стеклосодержащий компонент (наполнитель) поступает на склад в неизмельченном виде. Компонент сушится и загружается в шаровую мельницу для получения нужной фракции. Затем с помощью пневмонасоса происходит загрузка модификатора в смеситель для смешивания с другими добавками и гипсовым вяжущим. Далее вяжущее, наполнитель и необходимые добавки подвергаются взвешиванию и дозированию.

После дозировки компоненты поступают в смеситель постепенно до получения однородной массы, в первую очередь происходит загрузка гипсового вяжущего, затем наполнитель нужной фракции, в последнюю очередь вводятся добавки такие, как: гидратная известь, винная кислота, стеклосодержащий компонент.

В результате смешивания компонентов получается готовая сухая гипсовая смесь, которая подается на упаковку или в бункер [16].

6. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

6.1 Общая характеристика показателей экономической эффективности инвестиционных проектов нововведений

Экономическое обоснование производилось в соответствии с методикой, изложенной в «Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и отбору для финансирования».

Сравнение различных инвестиционных проектов (или вариантов проекта) и выбор лучшего из них рекомендуется производить с использованием различных показателей, к которым относятся:

1. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) или интегральный эффект;
2. Индекс доходности (ИД);
3. Внутренняя норма доходности (ВНД);
4. Срок окупаемости(СО).

1. Чистый дисконтированный доход (ЧДД) определяется как сумма текущих эффектов за весь расчетный период, приведенная к начальному шагу или как превышение интегральных результатов над интегральными затратами и определяется по формуле 6.1:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1 + E)^t}, \quad (6.1)$$

где R_t – результаты, достигаемые на t -ом шаге расчета, руб.;

Z_t – затраты, осуществляемые на том же шаге расчета, руб.;

E – норма дисконта, равная приемлемой для инвестора норме дохода на капитал, %;

T – горизонт расчета, равный периоду времени за который определяется эффективность ($T = 3 \dots 5$), год.;

t – номер шага расчета ($t = 0, 1, 2, \dots, T$), год.

Критерием чистого дисконтированного дохода является его положительное значение, т.е. если ЧДД больше 0, то проект является эффективным (при данной норме дисконта) и может рассматриваться вопрос о его внедрении.

2. Индекс доходности (ИД) представляет собой отношение суммы приведенных эффектов к величине капиталовложений и рассчитывается по формуле 6.2:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t^+}{(1 + E)^t}, \quad (6.2)$$

где Z_t^+ – затраты производства и/или эксплуатации после внедрения проекта нововведения на t -ом шаге при условии, что в них не входят капиталовложения, руб.;

K – капиталовложения для внедрения проекта нововведения, руб.

Критерием индекса доходности является его значение больше единицы, т.е. если ИД больше 1, то проект является эффективным (при данной норме дисконта) и может рассматриваться вопрос о его внедрении.

3. Внутренняя норма доходности (ВНД) представляет собой ту норму дисконта, при которой величина приведенных эффектов равна приведенным капиталовложениям. Иными словами является решением уравнения 6.3:

$$\sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t^+}{(1 + \text{ВНД})^t} = \sum_{t=0}^T \frac{K_t}{(1 + \text{ВНД})^t}, \quad (6.3)$$

где K_t – капиталовложения на t -ом шаге расчета, руб.

Критерием внутренней нормы доходности является равенство или превышение требуемой инвестором нормы дохода на капитал, т.е. в случае,

когда ВНД больше требуемой инвестором нормы дохода на капитал, инвестиции в данный проект оправданы и может рассматриваться вопрос о его внедрении. В противном случае инвестиции в данный проект нецелесообразны.

Если сравнение альтернативных (взаимоисключающих) инвестиционных проектов (вариантов проекта) по ЧДД и ВНД приводят к противоположным результатам, предпочтение следует отдавать ЧДД.

4. Срок окупаемости (СО) – минимальный временной интервал (от начала осуществления проекта), за пределами которого интегральный эффект становится и в дальнейшем остается неотрицательным, т.е. период, начиная с которого первоначальные вложения и другие затраты, связанные с инвестиционным проектом, покрываются суммарными результатами его осуществления. СО рассчитывается по формуле 6.4:

$$CO = \frac{K}{ЧДД}, \quad (6.4)$$

где ЧДД – чистый дисконтированный доход за 1 год, руб.

Критерий по сроку окупаемости задает инвестор.

- Выбор показателей и критериев эффективности:

Для расчета сравнительной экономической эффективности проекта выбирают следующие показатели: изменение чистого дисконтированного дохода и индекс доходности, которые учитывают затраты и результаты, связанные с реализацией проекта.

Критериями проекта принимаем:

- 1) если $ЧДД > 0$, то проект эффективен;
- 2) если $ЧДД < 0$, то проект неэффективен.

6.2 Постановка задачи экономического расчета по оценке эффективности внедрения проекта нововведений

На предприятии ООО «ГИПСОПОЛИМЕР» осуществляется производство штукатурных гипсовых смесей, сырьем для которого служит гипс, добываемая на собственной сырьевой базе. Недостатками данного гипса являются высокая водопотребность, водопоглощение и низкие прочностные характеристики.

Проект нововведения предлагает посредством добавления стеклосодержащего компонента в отношении 9:1 (гипс:стеклосодержащему компоненту) повысить прочностные характеристики.

Для наглядности сравнения показателей аналога и проекта нововведения представим в таблице 6.1 и на секторограмме (рисунок 6.1)

Таблица 6.1 – Показатели вариантов аналога и проекта

| №п /п | Показатель | Условное обозначение | Аналог | Проект |
|-------|--|----------------------|--------|--------|
| 1 | Марка по прочности | П | Г-5 | Г-10 |
| 2 | Расход гипса, кг/м ³ | Г | 100 | 900 |
| 3 | Расход стеклосодержащего компонента, кг/м ³ | ССК | 0 | 100 |

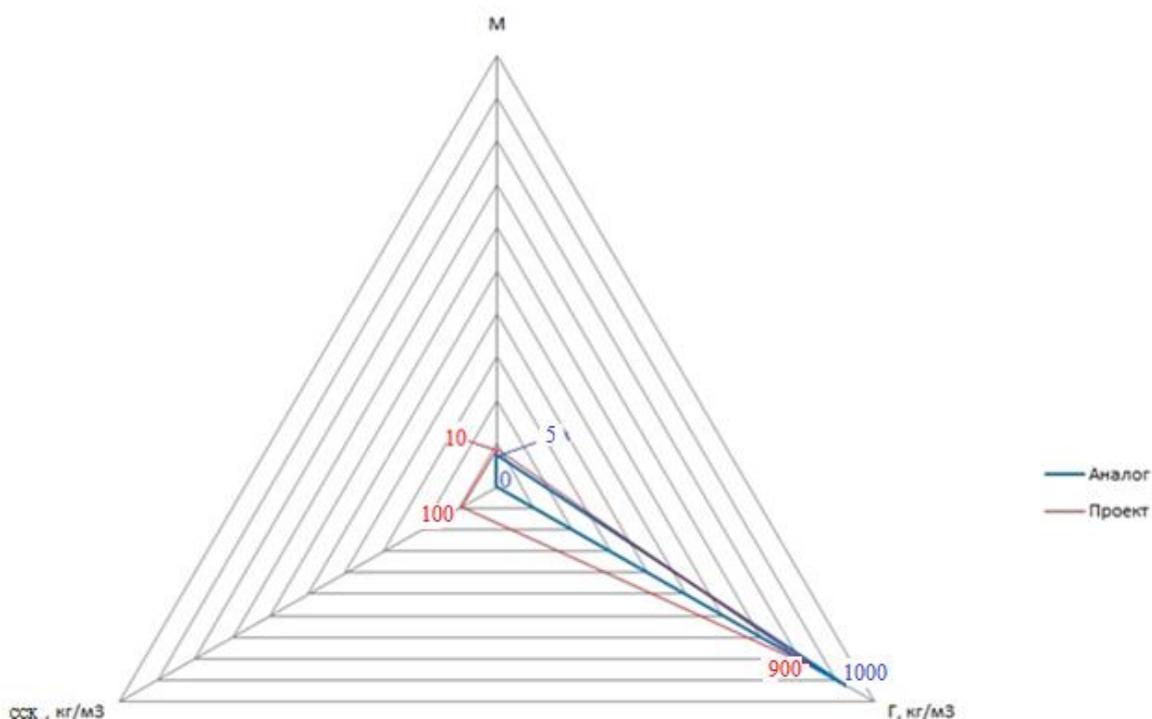


Рисунок 6.1 – Секторограмма показателей вариантов аналога и проекта нововведения

В состав капитальных затрат входят:

- первоначальная стоимость бункера для хранения добавки (закупка, транспортировка, установка),
- первоначальная стоимость дозатора добавки,
- первоначальная стоимость ленточного питателя для транспортировки добавки в смеситель.

Годовая экономия складывается из:

- снижения процента брака готовой штукатурной гипсовой смеси,
- снижения расхода гипсового сырья,
- увеличение цены штукатурки за счет повышения водостойкости.

6.3 Расчет капитальных затрат

Капитальные (единовременные) затраты (К), состав которых перечислен в постановке задачи экономического расчета, определяются по следующей формуле 6.5:

$$K = Z_{\text{тех}} + Z_{\text{п.с}} + Z_{\text{обуч.}}, \quad (6.5)$$

где $Z_{\text{тех}}$ – затраты на разработку технологической документации, руб.;

$Z_{\text{п.с}}$ – первоначальная стоимость вновь вводимого оборудования, руб.;

$Z_{\text{обуч}}$ – затраты на обучение персонала, руб.

Затраты на разработку технологической документации определяются по следующей формуле 6.6:

$$Z_{\text{тех}} = Z_{\text{з.п}} + Z_{\text{н.р}} + Z_{\text{э.н}} + A, \quad (6.6)$$

где $Z_{\text{з.п}}$ – заработная плата конструкторов, технологов, руб.;

$Z_{\text{н.р}}$ – накладные расходы, равные 200% от фонда оплаты труда, руб.;

$Z_{\text{э.н}}$ – затраты на электроэнергию, руб.;

A – затраты на амортизацию, руб.

Затраты на заработную плату определяется по формуле 6.7:

$$Z_{\text{з.п.}} = T_k \cdot Q_{\text{ср}} \cdot (1+k_d) \cdot (1+k_p) \cdot (1+k_y) \cdot (1+k_{\text{с.с.}}), \quad (6.7)$$

где T_k – трудоемкость i -го вида разработок (научно-исследовательских, конструкторских, технологических, разработки программного обеспечения технологических проектов и др.) ($i = 1, 2, \dots, n$), мес.;

$Q_{\text{ср}}$ – средний оклад i -й категории инженерно-технических работников (ИТР), руб./мес.;

k_d – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату разработчиков ($k_d = 0 \dots 5$), %;

k_p – коэффициент, учитывающий премию разработчиков ($k_p = 0 \dots 60$), %;

k_y – коэффициент, учитывающий районную надбавку разработчиков ($k_p = 15$), %;

$k_{с.с.}$ – коэффициент, учитывающий страховые взносы и социальные отчисления на разработчиков ($k_{с.с.} = 30,2$),%.

Проект:

$$Z_{з.п} = 0,3 \cdot 30\,000 \cdot 1,05 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1,302 = 21\,224,23 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$Z_{з.п} = 0,4 \cdot 30\,000 \cdot 1,05 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1,302 = 28\,298,97 \text{ руб.}$$

Накладные расходы ($Z_{н.р.}$) рассчитываются по формуле 6.8:

$$Z_{н.р.} = k_{н.р.} \cdot Z_{з.п}, \quad (6.8)$$

где $k_{н.р.}$ – коэффициент, учитывающий размер накладных расходов ($k_{н.р.} = 150 \dots 200$),%;

Проект:

$$Z_{н.р.} = 2 \cdot 21\,224,23 = 42\,448,46 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$Z_{н.р.} = 2 \cdot 28\,298,97 = 56\,597,94 \text{ руб.}$$

Затраты на оплату электроэнергии рассчитываются по формуле 6.9:

$$Z_{э.н} = P_k \cdot T_{кд} \cdot C_{э.н}, \quad (6.9)$$

где P_k – средняя мощность компьютеров, кВт;

$T_{\text{кд}}$ – трудоемкость разработки технологической документации, час;

$C_{\text{эп}}$ – цена электроэнергии, руб./ кВт.

Проект:

$$Z_{\text{эп}} = 0,2 \cdot 30 \cdot 5 = 30 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$Z_{\text{эп}} = 0,2 \cdot 30 \cdot 5 = 30 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления на используемое оборудование (компьютеры) (А) рассчитываются по формуле 6.10:

$$A = a_{\text{р.к.р.}} \cdot C_{\text{ост.}} \cdot T_{\text{кд}} / \Phi_{\text{г}}, \quad (6.10)$$

где $a_{\text{р.к.р.}}$ – норма амортизации на реновацию (восстановление) и капитальный ремонт оборудования (компьютеров), %;

$T_{\text{кд}}$ - трудоемкость разработки технологической документации, час;

$C_{\text{ост.}}$ – остаточная стоимость оборудования (компьютеров), руб.

$\Phi_{\text{г}}$ – годовой фонд рабочего времени ($\Phi_{\text{г}} = 12$), мес.

Проект:

$$A = 0,2 \cdot 50\,000 \cdot 0,3 / 12 = 250 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$A = 0,2 \cdot 50\,000 \cdot 0,4 / 12 = 333,33 \text{ руб.}$$

Затраты на разработку технологической документации:

Проект:

$$Z_{\text{тех}} = 21\,224,23 + 42\,448,46 + 30 + 250 = 63\,952,70 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$Z_{\text{тех}} = 28\,298,97 + 56\,597,94 + 30 + 333,33 = 85\,260,24 \text{ руб.}$$

Первоначальная стоимость вновь вводимого технологического оборудования определяется по формуле 6.11:

$$Z_{\text{обор}} = Ц_{\text{об}} + Z_{\text{тр}} + Z_{\text{у.м.}}, \quad (6.11)$$

где $Ц_{\text{об}}$ – затраты на приобретение вновь вводимого оборудования приведены в таблице 6.2, руб.;

$Z_{\text{тр}}$ – затраты на транспортные расходы по доставке оборудования, руб.;

$Z_{\text{у.м.}}$ – затраты на установку и монтаж вновь вводимого оборудования, руб.

Таблица 6.2 – Затраты на приобретение вновь вводимого оборудования

| Оборудование | Стоимость оборудования (аналог), руб | Стоимость оборудования (проект), руб |
|----------------------------|---|---|
| Бункер-дозатор | 120 000 | 120 000 |
| Смеситель | 1 950 000 | 1 950 000 |
| Шаровая мельница | - | 250 000 |
| Итого ($Ц_{\text{об}}$): | 1 962 000 | 2 200 120 |

Затраты на транспортные расходы по доставке оборудования ($Z_{\text{тр}}$) можно определить по формуле 6.12:

$$Z_{\text{тр}} = k_{\text{тр}} \cdot Ц_{\text{об}}, \quad (6.12)$$

где $k_{\text{тр}}$ – коэффициент, учитывающий транспортные расходы, %

Проект:

$$Z_{\text{тр}} = 0,05 \cdot 2\,200\,120 = 110\,006,00 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$Z_{\text{тр}} = 0,05 \cdot 1\,962\,000 = 98\,100,00 \text{ руб.}$$

По формуле 6.13 аналогичной предыдущей можно определить величину расходов на установку и монтаж ($Z_{\text{у.м.}}$):

$$Z_{\text{у.м.}} = k_{\text{у.м.}} \cdot Ц_{\text{об}}, \quad (6.13)$$

где $k_{\text{у.м.}}$ – коэффициент, учитывающий на установку и монтаж, %.

Проект:

$$Z_{\text{у.м.}} = 0,5 \cdot 2\,200\,120 = 1\,100\,060,00 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$Z_{\text{у.м.}} = 0,5 \cdot 1\,962\,000 = 981\,000,00 \text{ руб.}$$

Первоначальную стоимость вновь вводимого оборудования:

Проект:

$$Z_{\text{обор}} = 2\,200\,120 + 110\,006,00 + 1\,100\,060,00 = 3\,410\,186,00 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$Z_{\text{обор}} = 1\,962\,000 + 98\,100,00 + 981\,000,00 = 3\,041\,100,00 \text{ руб.}$$

Затраты на обучение персонала определяется по формуле 6.14:

$$Z_{\text{обуч}} = Z_{\text{з.п}} + Z_{\text{н.р}}, \quad (6.14)$$

где $Z_{\text{з.п}}$ – затраты на з/п инженера, занимающегося обучением, руб.;

$Z_{\text{н.р}}$ – затраты на накладные расходы, руб.

Затраты на з/п специалисту, проводящему обучение, определяется по формуле 6.15:

$$Z_{\text{з.п}} = T_{\text{к.д}} \cdot O_{\text{ср}} \cdot (1+k_{\text{доп}}) \cdot (1+k_{\text{прем}}) \cdot (1+k_{\text{у}}) \cdot (1+k_{\text{с.с}}), \quad (6.15)$$

где $T_{\text{к.д}}$ – трудоемкость обучения, мес.;

$O_{\text{ср}}$ – часовая тарифная ставка специалиста, занимающегося обучением персонала, руб/мес.;

$k_{\text{доп}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на дополнительную зарплату основных рабочих;

$k_{\text{прем}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на премию;

$k_{\text{у}}$ – коэффициент, учитывающий районную надбавку;

$k_{\text{с.с}}$ – коэффициент, учитывающий затраты на социальное страхование работников.

$$Z_{\text{з.п}} = 1 \cdot 25\,000 \cdot 1,05 \cdot 1,5 \cdot 1,15 \cdot 1,302 = 58\,956,20 \text{ руб.}$$

Затраты на накладные расходы определяются по формуле 6.16:

$$Z_{\text{н.р.}} = k_{\text{н.р.}} \cdot Z_{\text{з.п}}, \quad (6.16)$$

где $k_{\text{н.р}}$ – коэффициент, накладных расходов.

$$Z_{н.р.} = 2 \cdot 58\,956,20 = 117\,912,40 \text{ руб.}$$

Затраты на обучение:

$$Z_{обуч} = 58\,956,20 + 117\,912,40 = 176\,868,60 \text{ руб.}$$

Капитальные затраты равны:

Проект:

$$K = 63\,952,70 + 3\,410\,186,00 + 176\,868,60 = 3\,651\,007,30 \text{ руб.}$$

Аналог:

$$K = 85\,260,24 + 3\,041\,100,00 + 176\,868,6 = 3\,303\,228,84 \text{ руб.}$$

6.4 Расчет текущих затрат производства и/или эксплуатации при использовании аналога объекта нововведения

Расчет текущих затрат при использовании аналога объекта нововведения осуществляется по формуле 6.17:

$$Z_a = Z_{\text{мат}} + Z_{\text{з.п}} + Z_{\text{н.р}} + A, \quad (6.17)$$

где $Z_{\text{мат}}$ – затраты на материалы, руб.;

$Z_{\text{з.п}}$ – затраты на оплату труда рабочего, руб.;

$Z_{\text{н.р}}$ – накладные расходы, руб.;

A – затраты на амортизацию оборудования, руб.

Для расчета затрат на материалы в производстве и/или эксплуатации при использовании аналога объекта нововведения используется формула 6.18:

$$Z_{\text{мат}} = P_{\text{м}} \cdot Q_{\text{г}} \cdot Ц_{\text{м}}, \quad (6.18)$$

где $P_{\text{м}}$ – расход материалов на единицу продукции, т;

$Q_{\text{г}}$ – годовой объем выпуска продукции, м³;

$Ц_{\text{м}}$ – цена материалов, руб.

$$Z_{\text{мат}} = 1 \cdot 7650 \cdot 3800 = 29\,070\,000,00 \text{ руб}$$

Фонд оплаты труда основных производственных рабочих с отчислениями на социальное страхование при использовании аналога объекта нововведения ($Z_{\text{з/п}}^{\text{а}}$) рассчитывается по следующей формуле 6.19:

$$Z_{\text{з/п}} = Q_{\text{г}} \cdot T \cdot C_{\text{оп}} \cdot (1+k_{\text{д}}) \cdot (1+k_{\text{п}}) \cdot (1+k_{\text{у}}) \cdot (1+k_{\text{с.с.}}), \quad (6.19)$$

где T – трудоемкость i -го вида производственных операций ($i = 1, 2, \dots, n$), час.;

$C_{\text{оп}}$ – часовая тарифная ставка основных производственных рабочих i -го разряда, руб./час.;

$k_{\text{д}}$ – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату основных производственных рабочих ($k_{\text{д}} = 0 \dots 5$), %;

$k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий премию основных производственных рабочих ($k_{\text{п}} = 0 \dots 60$), %;

$k_{\text{у}}$ – коэффициент, учитывающий районную надбавку основных производственных рабочих ($k_{\text{п}} = 15$), %;

$k_{\text{с.с.}}$ – коэффициент, учитывающий социальные отчисления и страховые взносы на основных производственных рабочих ($k_{\text{с.с.}} = 30,2$), %;

$$Z_{\text{з/п}} = 7650 \cdot 0,4 \cdot 50 \cdot (1+0,05) \cdot (1+0,5) \cdot (1+0,15) \cdot (1+0,302) = 360\,811,87 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления на технологическое оборудование при использовании аналога объекта нововведения (A^a) рассчитываются по формуле 6.20:

$$A = a_{p.k.p.} \cdot Q_k, \quad (6.20)$$

где $a_{p.k.p.}$ – норма амортизации на реновацию (восстановление) и капитальный ремонт оборудования, %;

Q_k – первоначальная стоимость оборудования, руб.

Для оборудования, используемого после срока его окупаемости, норма амортизации на реновацию и капитальный ремонт принимается равной 6%, поэтому при расчете текущих затрат для аналога нововведения $a_{p.k.p.}$ берется равной 20%.

$$A = 0,2 \cdot 1\,962\,000,00 = 392\,400,00 \text{ руб.}$$

Накладные расходы при использовании аналога объекта нововведения рассчитываются по формуле 6.21:

$$Z_{n.p} = k_{n.p.} \cdot Z_{з/п}, \quad (6.21)$$

где $k_{n.p.}$ – коэффициент, учитывающий размер накладных расходов ($k_{n.p.}^a = 150 \dots 200$), %;

$$Z_{n.p} = 2 \cdot 360\,811,87 = 721\,623,74 \text{ руб.}$$

Текущие затраты для аналога равны:

$$Z_a = 29\,070\,000 + 360\,811,87 + 721\,623,74 + 392\,400 = 30\,544\,835,60 \text{ руб.}$$

6.5 Расчет текущих затрат проекта

Расчет текущих затрат осуществляется по формуле 6.22:

$$Z_{\Pi} = Z_{\text{мат}} + Z_{\text{з.п}} + Z_{\text{н.р}} + A, \quad (6.22)$$

где $Z_{\text{мат}}$ – затраты на материалы, руб.;

$Z_{\text{з.п}}$ – затраты на оплату труда рабочего, руб.;

$Z_{\text{н.р}}$ – накладные расходы, руб.;

A – затраты на амортизацию оборудования, руб.

Для расчета затрат на материалы в производстве и/или эксплуатации при использовании проекта используется формула 6.23:

$$Z_{\text{мат}} = P_{\text{м}} \cdot Q_{\text{г}} \cdot C_{\text{м}}, \quad (6.23)$$

где $P_{\text{м}}$ – расход материалов на единицу продукции, т;

$Q_{\text{г}}$ – годовой объем выпуска продукции, м³;

$C_{\text{м}}$ – цена материалов, руб.

$$Z_{\text{мат.г}} = 0,9 \cdot 7650 \cdot 3800 = 26\,163\,000,00 \text{ руб.}$$

$$Z_{\text{сск}} = 0,1 \cdot 7650 \cdot 2800 = 2\,142\,000,00 \text{ руб}$$

$$Z_{\text{мат}} = 26\,163\,000,00 + 2\,142\,000,00 = 28\,305\,000 \text{ руб.}$$

Затраты на заработную плату основных рабочих рассчитывается по следующей формуле 6.24:

$$Z_{\text{з/п}} = Q_{\text{г}} \cdot T \cdot C_{\text{оп}} \cdot (1+k_{\text{д}}) \cdot (1+k_{\text{п}}) \cdot (1+k_{\text{y}}) \cdot (1+k_{\text{с.с.}}), \quad (6.24)$$

где T – трудоемкость i -го вида производственных операций ($i = 1, 2, \dots, n$), час.;

$C_{оп}$ – часовая тарифная ставка основных производственных рабочих i -го разряда, руб./час.;

k_d – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату основных производственных рабочих ($k_d = 0 \dots 5$), %;

k_n – коэффициент, учитывающий премию основных производственных рабочих ($k_n = 0 \dots 60$), %;

k_y – коэффициент, учитывающий районную надбавку основных производственных рабочих ($k_y = 15$), %;

$k_{с.с.}$ – коэффициент, учитывающий социальные отчисления и страховые взносы на основных производственных рабочих ($k_{с.с.} = 30,2$), %;

$$Z_{з/п} = 7650 \cdot 0,3 \cdot 50 \cdot (1+0,05) \cdot (1+0,5) \cdot (1+0,15) \cdot (1+0,302) = 270\,608,90 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления на технологическое оборудование при использовании объекта нововведения рассчитываются по формуле 6.25:

$$A = a_{р.к.р.} \cdot Q_k, \quad (6.25)$$

где $a_{р.к.р.}$ – норма амортизации на реновацию (восстановление) и капитальный ремонт оборудования, %;

Q_k – первоначальная стоимость оборудования, руб.

$$A = 0,2 \cdot 2\,200\,120,00 = 440\,024,00 \text{ руб.}$$

Накладные расходы при использовании аналога объекта нововведения рассчитываются по формуле 6.26:

$$Z_{н.р} = k_{н.р} \cdot Z_{з/п}, \quad (6.26)$$

где $k_{н.р.}^a$ – коэффициент, учитывающий размер накладных расходов ($k_{н.р.}^a = 150 \dots 200$), %;

$$Z_{н.р} = 2 \cdot 270\,608,90 = 541\,217,80 \text{ руб.}$$

Текущие затраты для объекта нововведения равны:

$$Z_{п} = 28\,305\,000,00 + 270\,608,90 + 541\,217,80 + 440\,024,00 = 29\,556\,850,70 \text{ руб.}$$

6.6 Приведение вариантов аналога и проекта нововведения в сопоставимый вид

Составим сравнительную таблицу 6.3 аналога и проекта по различным параметрам.

Таблица 6.3 – Сравнительная таблица аналога и проекта

| | Проект | Аналог |
|--|----------------------------|-------------|
| Расход компонентов, т | Гипс – 900 ССК – 100 | Гипс – 1000 |
| Стоимость сырьевых материалов, руб/т | Гипса – 3800 ССК – 2800 | Гипс – 3800 |
| Годовой объем производства, м ³ | 7650 | 7650 |
| Трудоемкость производства, чел.-час/т | 0,4 | 0,3 |

Для расчета годовой экономии приводим варианты аналога и проекта в сопоставимый вид по годовому объему выпуска и коэффициента теплопроводности с помощью формулы 6.27:

$$\mathcal{E} = (Z_a/Q_a - Z_{п}/Q_{п}) \cdot Q_{п}, \quad (6.27)$$

где Z_a – текущие затраты аналога, руб.;

Z_p – текущие затраты проекта, руб.;

Q_a – годовой объем выпуска для аналога, м³;

Q_p – годовой объем выпуска для проекта, м³;

Годовая экономия равная:

$$\mathcal{E} = (30\,544\,835,60/7650 - 29\,556\,850,70/7650) \cdot 7650 = 987\,997,50 \text{ руб}$$

6.7 Расчет показателей экономической эффективности от внедрения проекта нововведения

Чистый дисконтированный доход может быть рассчитан по формуле 6.28:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t}{(1+E)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} - K > 0, \quad (6.28)$$

где K – сумма капиталовложений, руб.;

\mathcal{E}_t – годовая экономия производственных и/или эксплуатационных затрат от внедрения проекта нововведения, руб.;

E – норма дисконта ($E=10$), %;

$$\text{ЧДД} = \frac{987\,997,50}{(1+0,1)^1} + \frac{987\,997,50}{(1+0,1)^2} + \frac{987\,997,50}{(1+0,1)^3} - 347\,778,46 = 2\,109\,225,1 \text{ руб.} > 0$$

Индекс доходности (ИД) определяется по формуле 6.29:

$$\text{ИД} = \frac{1}{K} \sum_{t=0}^T \frac{R_t - Z_t^+}{(1+E)^t} = \left(\sum_{t=0}^T \frac{\mathcal{E}_t}{(1+E)^t} \right) / K > 1, \quad (6.29)$$

где Z_t^+ – затраты производства и/или эксплуатации после внедрения проекта нововведения на t -ом шаге при условии, что в них не входят капиталовложения, руб.;

K – капиталовложения для внедрения проекта нововведения, руб.

$$\text{ИД} = \frac{\frac{987\,997,50}{(1+0,1)^1} + \frac{987\,997,50}{(1+0,1)^2} + \frac{987\,997,50}{(1+0,1)^3}}{347\,778,46} = 7,06 \text{ руб.} > 1$$

Срок окупаемости СО определяется по формуле 6.30:

$$\text{СО} = \frac{\text{К}}{\text{ЧДД}}, \quad (6.30)$$

где ЧДД – средний годовой ЧДД без учета капиталовложений.

$$\text{СО} = 347\,778,46 / \left(\left(\frac{323\,079,83}{(1+0,1)^1} + \frac{323\,079,83}{(1+0,1)^2} + \frac{323\,079,83}{(1+0,1)^3} \right) / 3 \right) = 0,42 \text{ года} < 1$$

6.8 Вывод

Проведенный расчет экономической эффективности показывает, что:

- ЧДД = 2 109 225,1 руб. > 0, что удовлетворяет условию;
- ИД = 7,06 руб. > 1, что удовлетворяет условию;
- СО = 0,42 года < 1, что удовлетворяет условию.

Анализ расчета экономических показателей и сравнение их с соответствующими критериями дает основание считать данный проект экономически эффективным и целесообразным для внедрения на предприятие ООО «ГИПСОПОЛИМЕР».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При введении винной кислоты в количестве 0,1% к гидратной извести (ИГ) и ССК в количестве 2-4, 5-10% соответственно водопотребность смеси уменьшилась в среднем с 0,56 до 0,42. При этом сроки схватывания увеличились: начало – с 9,30 до 1 часа 10 минут, конец с 14 минут до 2 часов и более.

2. Установлено, что при введении ССК в количестве 5-10% прочность при сжатии увеличивается с 5 до 11,66 МПа по сравнению с контрольным составом.

3. Показано отрицательное влияние на сцепление с основанием (керамический кирпич) при добавлении калийсиликатного цемента (КСЦ) в количестве 1,2,3,5% в составы, содержащие ССК (5%), известь (4%) и винную кислоту (0,1%). Адгезионная прочность уменьшилась в среднем с 0,47 до 0,23. Данный факт объясняется тем, что винная кислота нейтрализует щелочную среду, создаваемую за счет КСЦ и извести. Происходит снижение гидратационной активности гипса и уменьшение количества образующегося геля кремниевой кислоты при гидратации КСЦ. Добавка КСЦ показывает отрицательный результат и не рекомендуется для применения без соответствующих добавок, способных поддерживать щелочную среду.

4. Наибольшее значение коэффициента размягчения (0,61-0,71) было получено у составов, содержащих ССК 5-10%, известь 2-4%, винную кислоту 0,1%. Состав № 10 с содержанием ССК 5%, извести 4%, винной кислоты 0,1% и КСЦ 2% показал наибольшее значение коэффициента размягчения (0,78).

5. Были получены уравнения регрессии второго порядка, отражающие зависимость состава композиционного гипсового вяжущего от прочности при сжатии и коэффициента размягчения.

6. Величина водопоглощения модифицированных составов штукатурных смесей увеличилась незначительно по сравнению с контрольным бездобавочным составом с 13% до 15,83%.

7. Проведенный расчет экономической эффективности показывает, что:

- ЧДД = 2 109 225,1 руб. > 0, что удовлетворяет условию;
- ИД = 7,06 руб. > 1, что удовлетворяет условию;
- СО = 0,42 года < 1, что удовлетворяет условию.

Анализ расчета экономических показателей и сравнение их с соответствующими критериями дает основание считать данный проект экономически эффективным и целесообразным для внедрения.

Таким образом, проведенные испытания выявили возможность использования ССК в штукатурных гипсовых смесях в качестве наполнителя.

Оптимальными по комплексу технологических и физико-механических свойств являются составы №5 и №7 с содержанием ССК 10%, гидратной извести 2-4%. При этом существует необходимость улучшения водоудерживающей способности смесей. Для этого необходимо вводить специальные добавки, например, эфиры целлюлозы, что является предметом дальнейших исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Технология сухих строительных смесей / Ю.М. Баженов [и др.]. - М.: АСВ, 2003. – 96 с.
2. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение) / под общ. ред. А.В. Ферронской. - М.: АСВ, 2004. – 488 с.
3. Применение дефеката в сухих строительных смесях на гипсовых вяжущих / Б.И. Тихомиров [и др.] // Научно-технический и производственный журнал. – 2010. – С. 57-60.
4. Адгезионные свойства гипсового вяжущего в присутствии калийсиликатного цемента / С.А. Сеньков [и др.] // Научно-технический и производственный журнал. – 2015. – С. 69-71.
5. Халиуллин, М.И. Композиционные гипсовые вяжущие с добавками извести, керамзитовой пыли и суперпластификаторов / М.И. Халиуллин, Р.З. Рахимов, А.Р. Гайфуллин // Известия КГАСУ. – 2012. – № 4. – С. 351-355.
6. Сычева, Л.И. Влияние химических добавок на свойства гипсовых штукатурных смесей / Л.И. Сычева, Аунг Тху Наинг // Успехи в химии и химической технологии. – 2020. – № 5. – С. 12-14.
7. Халиуллин, М.И. Штукатурные сухие смеси на основе композиционного гипсового вяжущего повышенной водостойкости / М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин // Известия КГАСУ. – 2010. – № 2. – С. 292-296.
8. Пат. RU 2448923 С1. Штукатурная гипсовая сухая строительная смесь / М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин / Заявитель и патентообладатель - Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Казанский государственный архитектурно-строительный университет" КазГАСУ (RU) - № 2010137385/03; заявл. 07.09.2010; опубл. 27.04.2012.
9. Пат. RU 2652196 С2. Штукатурная гипсовая сухая строительная смесь / М.И. Халиуллин, А.Р. Гайфуллин / Заявитель и патентообладатель -

Общество с ограниченной ответственностью "Композиционные гипсовые вяжущие" ООО "КГВ" (RU) - № 2016119088; заявл. 17.05.2016; опубл. 25.04.2018.

10. Preparation of waterproof block by silicate clinker modified FGD gypsum/ Qisheng Wu [и др.] // Other articles in Construction and Building Materials. Volume 214. – 2019. – 30 July.

11. Study of modified gypsum binder / Nataliia Kondratieva [и др.] // Other articles in Construction and Building Materials. Volume 149. – 2017. – 15 September.

12. Сопегин Г.В. Оценка влияния стеклосодержащего компонента на свойства гипсового вяжущего и сухих строительных смесей / Г.В. Сопегин, Н.С. Семейных, Д.Ч. Рустамова // Вестник ТГАСУ. – 2020. – № 5. – С. 129-135.

13. Сопегин Г.В. Оценка свойств композиционного гипсового вяжущего с добавками извести и стеклосодержащего компонента / Г.В. Сопегин, Д.Ч. Рустамова // Молодые ученые – развитию национальной технологической инициативы. – 2021. – №1. – С. 252-254.

14. Гургенян Н.В. Влияние свойств породы на удельную поверхность вспученного заполнителя и изделий на его основе / Н.В. Гургенян, И.Б. Хачанова // Труды Кольского научного центра РАН. – 2018. – Т 2. – № 2. – С. 824-828.

15. Волкова О.Е. Строительные материалы на основе вспученного перлита и магниезиального вяжущего / О.Е. Волкова, А.Ю. Волкова // Труды БрГУ. – 2015. – Т 1. С. 201-203.

16. Технологические особенности сухих строительных смесей на гипсовой основе [Электронный ресурс]. – 2014. – Режим доступа: https://revolution.allbest.ru/manufacture/00370165_0.html, свободный.