

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

На правах рукописи



ИШМУХАМЕТОВ ЭДУАРД МИНИАХМЕТОВИЧ

**РАЗРАБОТКА И КОЛЛОИДНО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
АЛКИДНОЙ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ**

Специальность 1.4.10. Коллоидная химия

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

**Научный руководитель:
доктор технических наук,
профессор Строкова В. В.**

Белгород 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	11
1.1 Существующие методы пылеподавления.	
Преимущества и недостатки	11
1.2 Особенности физико-химических методов пылеподавления	17
1.3 Виды пылеподавляющих составов.....	20
1.4 Механизм действия пылеподавляющих составов	
различных видов	29
1.5 Коллоидно-химические свойства пылеподавляющих	
полимерных эмульсий на водной основе	33
1.6 Выводы.....	43
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	45
2.1 Объекты исследования	45
2.1.1 Компонент дисперсной фазы.....	45
2.1.2 Эмульгаторы.....	46
2.1.3 Модификаторы дисперсной фазы	48
2.1.4 Модификаторы дисперсионной среды	49
2.1.5 Компоненты пылеобразующей дисперсии.....	50
2.2 Методы исследования коллоидно-химических и физико-механических	
свойств сырьевых и синтезированных материалов.....	50
2.2.1 Методы исследования пылеобразующей дисперсии	51
2.2.2 Методы исследования дисперсной фазы.....	52
2.2.3 Методы исследования эмульсии	53
2.3 Выводы.....	54
3 РАЗРАБОТКА СОСТАВА И МЕТОДА ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ	
ПЫЛЕПОДАВЛЯЮЩЕЙ АЛКИДНОЙ ЭМУЛЬСИИ	56
3.1 Концепция дизайна исследования для проведения	

сегментированного эксперимента	58
3.2 Обоснование выбора, состав и свойства неорганической модельной пылеобразующей дисперсии	64
3.3 Коллоидно-химические, физико-механические свойства и определение способности дисперсной фазы к эмульгированию	76
3.4 Подбор параметров эмульгирования для получения алкидной эмульсии	81
3.5 Подбор стабилизирующего компонента эмульсии	92
3.6 Влияние модификатора дисперсной фазы и дисперсионной среды на свойства эмульсии.....	107
3.7 Выводы.....	116
4 ВЛИЯНИЕ ЭМУЛЬСИИ АЛКИДНОЙ СМОЛЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ	119
4.1 Оценка эффективности связующей способности эмульсии.....	119
4.2 Разработка оборудования, методики оценки эффективности пылеподавления в лабораторных условиях	131
4.3 Феноменологическая модель процесса консолидации пылеобразующей дисперсии при взаимодействии с эмульсией.....	138
4.4 Технология производства алкидной эмульсии	142
4.5 Техничко-экономическое обоснование эффективности производства алкидной эмульсии	145
4.6 Выводы.....	151
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	154
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	157
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	174
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Анализ состава и свойств пылеподавляющих растворов на водной основе	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Анализ состава и свойств пылеподавляющих	187

пен на водной основе	
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Анализ состава и свойств пылеподавляющих эмульсий на водной основе	189
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Титульный лист технологического регламента на производство эмульсии алкидной смолы на водной основе для пылеподавления	197
ПРИЛОЖЕНИЕ Д. Акт выпуска опытной партии эмульсии для пылеподавления.....	198
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Протокол о намерениях.....	199
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. Справка о внедрении результатов работы в учебный процесс.....	200

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Пылеобразование на промышленных объектах при складировании, хранении и транспортировке сыпучих материалов является одним из основных источников загрязнения воздуха. В области коллоидной химии и связанных с ней технологических направлениях большое внимание уделяется получению составов для пылеподавления неорганических дисперсий аэрозольного типа (пылеобразующих дисперсий). Среди традиционно применяемых составов (реагентов) – растворы, пены, эмульсии – последние вызывают повышенный интерес в связи с достижением более длительного эффекта при нанесении на пылеобразующие дисперсии (ПД). Однако существующие на рынке эмульсии на полимерной основе не обеспечивают высокого пленкообразования (укрывистости) при сохранении адгезивности (для агломерации частиц ПД). В то же время, алкидные смолы, благодаря удачному сочетанию в них сложных полиэфиров и растительных масел, являются популярным типом связующих и пленкообразующих компонентов, активно применяемых в лакокрасочной промышленности. Однако вопрос создания концентрированных эмульсий алкидной смолы с наименьшим размером капель и наибольшим сроком жизни, а также наименьшей вязкостью, обеспечивающих реализацию механизма захвата и связывания ПД с формированием полимерного защитного слоя, остается актуальной научной задачей.

Работа выполнялась при финансовой поддержке гранта президента РФ НШ-2584.2020.8, гранта РНФ 23-19-00796.

Степень разработанности темы. Проблемы создания пылеподавляющих составов входят в круг интереса специалистов в области коллоидной химии, химической технологии, экологической безопасности, что свидетельствует о существенной междисциплинарности данного вопроса. Несмотря на имеющийся опыт создания эмульсий для различных областей применения (лакокрасочная промышленность, охрана труда (в горной промышленности), фармацевтика, геотехнология), в том числе на основе алкидных смол, остаются не до конца изученными вопросы повышения стабильности алкидного компонента, оптимизации процесса эмульгирования и после-

дующего пленкообразования таких дисперсных систем для формирования высокоэффективных пылеподавляющих эмульсий и покрытий на их основе.

Цель работы. Разработка и изучение коллоидно-химических особенностей получения эмульсий на основе алкидной глифталевой смолы для пылеподавления.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучение влияния технологических параметров эмульгирования на коллоидно-химические свойства эмульсии алкидной смолы на водной основе;
- подбор модификаторов границы раздела фаз эмульсии для улучшения способности к полимеризации и физико-механических характеристик защитного алкидного слоя;
- исследование пленкообразующей способности эмульсии алкидной смолы на поверхности пылеобразующей модельной дисперсии;
- разработка методики для оценки пылеподавляющей способности эмульсии с помощью портативной установки, работающей по принципу аэродинамической трубы.

Научная новизна работы. Установлены условия получения коллоидно-устойчивой пылеподавляющей водной эмульсии полимера на основе алкидной глифталевой смолы, заключающиеся в следующей последовательности и параметрах эмульгирования: предварительное введение эмульгатора АМР-95 в алкидную смолу (скорость $v=1900\text{--}2000$ об/мин, температура $t=35$ °С, время $\tau=10$ мин перемешивания); подача полученного раствора в воду (эмульгирование: $v=5000$ об/мин; $t=35$ °С; $\tau=10$ мин); введение коалесцента этиленгликоля (эмульгирование: $v=10000$ об/мин; $t=35$ °С; $\tau=30$ мин); последовательное введение сиккативов кобальта и циркония (эмульгирование: $v=10000$ об/мин; $t=35$ °С; $\tau=10$ минут).

Установлены закономерности влияния модифицирующих компонентов на свойства алкидной пылеподавляющей эмульсии и пленки на ее основе. Введение этиленгликоля в качестве коалесцирующего компонента – 6 масс.% и сиккативов кобальта и циркония – 0,034 и 0,066 масс.% соответственно, обеспечивают получение коллоидно-устойчивой эмульсии с размером капель – до 3 мкм, вязкостью до

50,7 мПа×с, сроком жизни – до 87 сут. Формируемая алкидная пленка, создаваемая на пылеобразующей дисперсии, представляет собой консолидированный слой частиц пыли, с временем высыхания – 19 ч, твердостью пленки – 0,32 у.ед., краевым углом – 97,5°, свободной энергией поверхности – 36,7 мН/м.

Предложен механизм действия эмульсии алкидной смолы на водной основе как пылеподавляющего реагента, заключающийся в пленкообразовании за счет последовательно происходящих этапов консолидации пылеобразующей дисперсии: захват каплями эмульсии частиц пыли как в воздухе, так и на пылеобразующей поверхности; испарение дисперсионной среды, обеспечивающее слияние капель дисперсной фазы с формированием агломератов частиц пыли и их уплотнением; размягчение оболочки капли эмульсии и экстрагирование этиленгликолем алкидной смолы с распределением ее по пылеобразующей дисперсии с увеличением объема агрегированных частиц пыли; в результате взаимодействия сиккатива с дисперсной фазой происходит поверхностная и объемная полимеризация алкидного смолы, сопровождающаяся испарением коалесцента и дисперсионной среды с образованием алкидной пленки, представляющей собой консолидированный слой частиц пыли.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложено решение научной задачи по получению пылеподавляющей эмульсии алкидной смолы с высоким содержанием полимерного компонента, низким размером капель и высоким сроком жизни, обеспечивающей высокую проникающую способность реагента в пылеобразующую неорганическую дисперсию с образованием полимерной пленки, позволяющей снизить коэффициент запыленности до 0,066 при расходе эмульсии 0,75 л/м².

Проведено ранжирование рецептурно-технологических способов по повышению эффективности получения трехкомпонентной алкидной эмульсии «дисперсная фаза – дисперсионная среда – эмульгатор» по совокупности характеристик (уменьшение размера капель эмульсии, снижение условной вязкости, повышение срока жизни).

Разработан состав и технология получения пылеподавляющей эмульсии для

нанесения методом распыления на пылеобразующую дисперсию с 56,1 %-ным содержанием алкидной смолы, 37,5 %-ным содержанием воды, 0,3 %-ным содержанием АМР-95, 6 %-ным содержанием этиленгликоля, 0,1 %-ным содержанием смеси сиккативов кобальта и циркония.

Предложен комплекс косвенных и прямых методов оценки пылеподавляющей эффективности алкидных эмульсий, включающий определение: частного остатка на сите после обработки ПД эмульсией, структуры поверхности и толщины консолидированного слоя (КС), водоустойчивости, краевого угла, коэффициента запыленности.

Предложена методика количественной оценки эффективности полимерных пылеподавляющих составов, заключающаяся в определении коэффициента запыленности, характеризующего устойчивость консолидированного слоя к ветровой эрозии. Разработана портативная лабораторная установка, действующая по принципу аэродинамической трубы, позволяющая оценить концентрацию пыли в воздухе.

Методология и методы исследования. Методологической основой работы являлись результаты фундаментальных и прикладных исследований отечественных и зарубежных ученых в области коллоидной химии полимеров. Методология работы построена на принципах стабилизации многокомпонентных коллоидных систем (эмульсий), их получения и формирования на их основе защитных пылеподавляющих пленок. При разработке составов эмульсии и определении технологических параметров ее получения оценивались: для эмульсии – размер капель, структурные особенности, вязкость, срок жизни; для пленки – твердость, адгезия, эластичность при изгибе, время высыхания, нелетучесть веществ, краевой угол, свободная энергия поверхности. Полимерное покрытие оценивали на соответствие требований согласно ГОСТ Р 51037–97.

Положения, выносимые на защиту:

- условия получения коллоидно-устойчивой пылеподавляющей водной эмульсии полимера на основе алкидной глифталевой смолы;
- характер влияния модифицирующих компонентов на эмульгирование

алкидной смолы при получении пылеподавляющей эмульсии;

- механизм действия эмульсии алкидной смолы на водной основе как пылеподавляющего реагента;
- комплекс косвенных и прямых методов оценки пылеподавляющей эффективности алкидных эмульсий; методика количественной оценки полимерных пылеподавляющих составов;
- состав, технология получения и коллоидно-химические свойства алкидной пылеподавляющей эмульсии на водной основе для нанесения методом распыления на пылеобразующую дисперсию.

Степень достоверности полученных результатов обеспечена выполнением экспериментальных исследований на высоком техническом уровне с учетом требований нормативной документации при использовании широкого спектра современного поверенного и сертифицированного оборудования. Обработку данных производили с использованием методов математической статистики. Полученные данные обладают высокой прецизионностью и согласуются с работами других авторов в данной области.

Апробация результатов работы. Основные положения диссертационной работы были представлены на международных и всероссийских (национальных) конференциях и форумах: «Наукоемкие технологии и инновации» (Белгород, 2019); «Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов» (Йошкар-Ола, 2019); «Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе» (Саратов, 2019); «Наукоемкие технологии функциональных материалов» (Санкт-Петербург, 2019); конференция Высшей школы САФУ (Архангельск, 2019); «Химия и химическая технология: достижения и перспективы» (Кемерово, 2020); «Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе» (Тюмень, 2020); «Углекислотная химия и экология Кузбасса» (Кемерово, 2022); «Молодых исследователей им. Д.И. Менделеева» (Тюмень, 2023).

Внедрение результатов исследований. С целью внедрения результатов работы разработан технологический регламент на производство пылеподавляющей

эмульсии алкидной смолы на водной основе. Выпуск опытной партии пылеподавляющей эмульсии осуществлен на предприятии ООО Завод «Краски КВИЛ» (г. Белгород).

Теоретические и экспериментальные результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению «Химическая технология», «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» и магистров по направлению «Нanomатериалы».

Публикации. Результаты исследований, отражающие основные положения диссертационной работы, изложены в 13 научных публикациях, в том числе 5 статей в журналах, входящих в перечни рецензируемых научных изданий и международных реферативных баз, рекомендованных ВАК РФ.

Личный вклад. Автором теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность получения пылеподавляющей эмульсии алкидной смолы на водной основе. Проведен комплекс экспериментальных работ по изучению коллоидно-химических свойств как исходных компонентов, так и эмульсии на их основе, а также физико-химических свойств покрытий на пылеобразующих дисперсиях, разработан состав и технология производства эмульсии с высокой степенью пылеподавления.

Объем и структура работы. Научно-исследовательская работа состоит из введения, основной части (четырех глав), заключения, списка литературы, приложений. Результаты изложены на 200 страницах машинописного текста, включающего 27 таблиц, 36 рисунков, список литературы из 158 источников, 7 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Существующие методы пылеподавления.

Преимущества и недостатки

В большинстве стран пылеобразование на промышленных объектах – один из основных источников загрязнения воздуха. Объекты строительного, карьерного и горнодобывающего назначения при транспортировке грузов посредством дорожного транспорта, складирование и хранение сырьевых материалов, добытых полезных ископаемых, а также отходов являются ключевыми факторами в процессе формирования пыли. Другим неконтролируемым способом появления и переноса пыли являются природные объекты, а также техногенные отвалы, где природные и погодные явления вызывают ветровую эрозию [1]. Вдыхание специфически загрязнённого воздуха представляет собой опасность для здоровья человека.

Все вышеперечисленные проблемы являются стимулом к созданию эффективного пылеулавливающего оборудования, а также функциональных пылеподавляющих составов (ПС), последние вызывают повешенный интерес в связи с достижением более длительного эффекта при нанесении на пылеобразующие дисперсии (ПД). Пылеулавливающие машины ликвидируют пыль на краткосрочный период, а их применение на промышленных объектах открытого типа нецелесообразно. Основным методом понижения концентрации пыли в воздухе может служить использование различных реагентов в сухом или жидком состоянии, растворов, пен и эмульсий [2–4].

Анализ научных публикаций российских и зарубежных авторов, выявил наиболее перспективную с практической точки зрения тематику – пылеподавляющие полимерные дисперсии на водной основе. Для максимального снижения или полного прекращения пылеобразования необходимо укрепление внешнего слоя пылеобразующей дисперсии. Это возможно реализовать при использовании ПС, в основе которых есть клеящие реагенты (полимеры с высокой пленкообразующей способностью) [5–11], то есть водные пылеподавляющие составы на основе полимеров, способные создавать полимерный слой на поверхности ПД. Их применение выгодно

с экономической точки зрения и не требует специального оборудования для орошения составом поверхности дороги. Однако в данной области существует проблема недостатка теоретических и практических знаний в общих и специфических вопросах. Изучение проблемы пылеподавления в ряде источников носит поверхностный характер, не отличающийся глубиной проработки технологических особенностей получения и функциональных возможностей методик с использованием пылеподавляющих составов. Данный факт существенно ограничивает широкомасштабное производство пылеподавляющих реагентов и применение подобных технологий для борьбы с пылью.

При организации мероприятий по пылеподавлению или пылеудалению следует учитывать основные свойства пыли: слипаемость, смачиваемость, дисперсность.

Слипаемость – образование конгломератов пыли путем аутогенного воздействия [12]. Аутогезией называют процесс взаимодействия частиц ПД друг с другом и характеризуют слипаемостью. На слипаемость оказывает влияние гигроскопичность пыли, т.е. её способность поглощать влагу из окружающей среды до равновесия с влагосодержанием этой газовой среды. Различают следующие группы пыли по слипаемости (характеристический показатель – разрывная прочность слоя пыли по Е.И. Андрианову [13]):

1. Неслипающаяся ($P \leq 60$, Па): шлаковая, глиноземная, шамотная, доломитовая, кварцево-песчаная пыль;

2. Слабослипающаяся ($60 < P < 300$, Па): сланцевая, коксовая, магнезитовая, апатитовая, доменная пыль;

3. Средне-слипающаяся ($300 < P < 600$, Па): сухая цементная пыль, пыль железного колчедана, сажа и другие пыли с максимальным диаметром частиц ≤ 25 мкм;

4. Сильнослипающаяся ($P > 600$, Па): минеральная пыль (гипс, алебастр, влажный цемент, глины), волокнистые пыли (асбест, хлопок, шерсть) и все пыли с размером частиц ≤ 10 мкм.

Дисперсность в значительной мере определяет свойства аэрозольной системы. Влияние размера частиц на поведение пыли весьма существенно, поскольку именно этот параметр определяет скорость оседания пыли и её реакционную способность.

Чем мельче частицы ПД, тем медленнее они оседают. Высокая удельная поверхность, обуславливаемая размерами частиц, повышает их реакционную способность с находящимися в воздухе веществами, что может положительно сказаться на мероприятиях пылеподавления [12].

Смачиваемость пыли – это характеристика, указывающая на способность пыли взаимодействовать с жидкостями. Легко смачиваемая частица ПД при контакте с поверхностью раствора погружается в его структуру, в противном случае частица дисперсии остается на поверхности и не ликвидируется [12]. Смачиваемость классифицируется следующим образом:

1. Плохо смачиваемая (показатель количества затонувших частиц пыли 0–30%);
2. Средне смачиваемая (30–80 %);
3. Хорошая смачиваемая (80–100 %).

Классификация способов снижения концентрации пыли на промышленных объектах с высокой степенью пылеобразования. В зависимости от источника, состава, дисперсности пыли и типа промышленного объекта возможно применение различных методов ликвидации пыли (рисунок 1.1), каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки, отличается принципом работы и механизмом действия.

На промышленных объектах закрытого типа (цеха, рабочие помещения, склады и др.) наибольшее распространение получили механические способы борьбы с пылью и пылеулавливание. Отметим, что для снижения пылеобразования на объектах промышленного назначения подобные методики имеют наименьший успех.

Механические методы пылеулавливания подразделяют на следующие виды:

- с применением оборудования временного удаления пыли;
- с применением пылесборочных установок и оборудования.

На промышленных объектах открытого типа для пылеподавления активно применяется влажный метод. Классификационно этот метод специально отделён от остальных, поскольку является как бы переходным между механическими и физико-химическими способами ликвидации пыли [14, 15]. Изученный и приведенный в 1 главе данной диссертационной работе обзорный материал представлен в публикации автора [16].

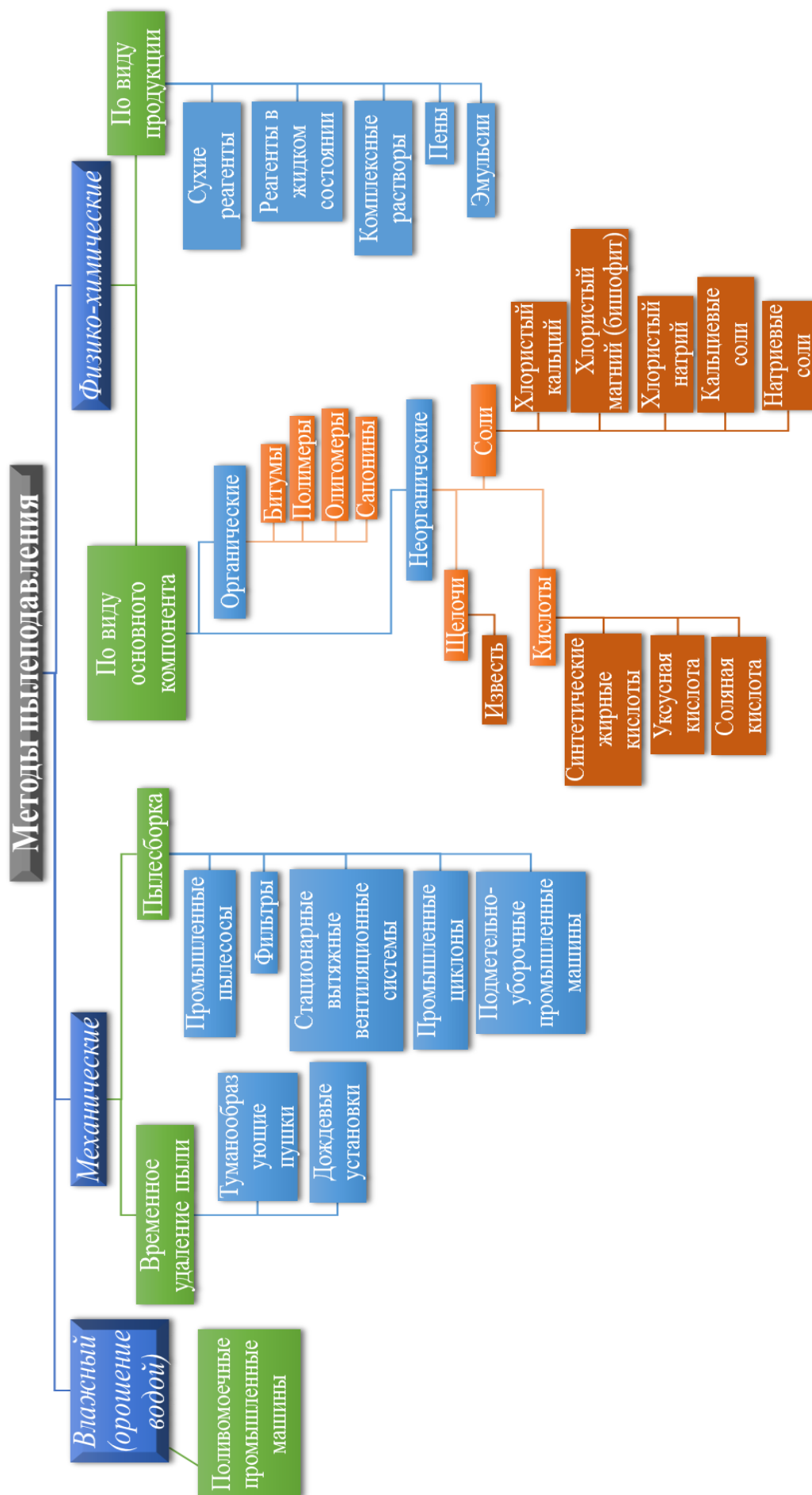


Рисунок 1.1 – Классификация методов ликвидации пыли и предотвращения пыления [16]

В основном он сводится к применению воды технического качества. Методика является экономически выгодной, поскольку вода находится в открытом доступе, а её распыление не требует наличия специальной техники. Достаточно пролить пылящую поверхность из шланга или поливовой машины. При проникновении воды в структуру грунтового полотна и параллельном уплотнении поверхности, проезжающими машинами, на поверхности дороги образуется плотная корка, препятствующая поднятию пыли в воздух. Однако у методики есть существенный недостаток – зависимость от климатических условий, в частности температуры и влажности воздуха.

Наиболее востребованными в настоящее время методами борьбы с пылью считаются физико-химические методы [17]. Несмотря на трудоёмкость, их применение подтверждается высокими показателями эффективности очистки воздуха, а также продолжительностью срока действия.

Исходя из проанализированной литературы, были выявлены наиболее распространенные вещества для пылеподавления на промышленных объектах открытого типа. Их классифицируют по химической природе вещества на органические и неорганические. К органическим относят: битумы, олигомеры, полимеры и сапонины. К неорганическим: щелочи, соли, кислоты.

Пылеподавляющие средства (реагенты) должны обладать следующими ключевыми параметрами: эффективность реагента против конкретного вида пыли, срок пылеподавляющей способности и способ нанесения реагента на пылящую поверхность (промышленными машинами или механическими оросительными установками).

Как правило, пылеподавляющие растворы получают путем разбавления активного компонента в воде. Это позволяет избежать перерасхода реагентов, что снижает риск загрязнённости не только пылью, но и самими реагентами, поскольку эти вещества обладают достаточно активными с химической точки зрения свойствами. Кроме того, снижение расхода ПС на единицу площади ПД снижает экономические затраты.

Единой регламентируемой классификации для пылеподавляющих материалов не существует, поскольку разработки ведутся в отдельных узконаправленных сферах. На основе выше указанных параметров целесообразно осуществить классификацию пылеподавателей (реагентов) по виду основного компонента (агрегатного состояния реагента) и виду продукции (морфологической структуре применяемого реагента):

1. Агрегатное состояние реагента:

- сухое вещество;
- жидкое вещество.

2. Морфологическая структура применяемого реагента:

- растворы;
- пены;
- эмульсии.

Некоторые вещества нецелесообразно поставлять в жидком состоянии ввиду испарения, седиментации и иных негативных факторов, поэтому к месту непосредственного потребления их доставляют в сухом виде. Водные растворы поставляются в исключительных случаях для таких веществ как щелочи, соли [18, 19].

Исходя из методов борьбы с пылью, следует внести ясность в определение таких понятий как, пылеподавление и пылеулавливание. Пылеулавливание – процесс механического сбора пыли с помощью промышленных машин, пылесосов, сепараторов и фильтров на кратковременный период. Пылеподавление – совокупность способов и средств, препятствующих загрязнению атмосферы пылью посредством её закрепления на поверхности. Отличается долговременным эффектом [20–23].

Таким образом, разработка multifunctional, высокоэффективных, экологически безопасных и перерабатываемых ПС представляется актуальной областью исследований. Анализ литературы, терминологических вопросов и методов борьбы с пылью на промышленных объектах, показал сложность выбора предпочтительного способа устранения пылевого облака на промышленных объектах с высокой степенью пылеобразования. Однако, исходя из теоретических представлений

и востребованности в последнее время, по эффективности пылеподавления выделяется физико-химических методов при использовании реагентов на полимерной основе.

1.2 Особенности физико-химических методов пылеподавления

Тенденции современного мира подталкивают производство к расширению площадей, что приводит к увеличению строительных объектов повсеместно. Поскольку данные объекты не могут существовать без транспортных сетей и узлов вокруг них образуются новые дорожные полотна, сначала грунтовые, как бы черновые дороги, а затем полноценные асфальтированные или бетонированные [24, 25]. Однако тут же появляется распространённая в около дорожной среде проблема – пылеобразование. Пыль в данном случае выступает как агрессивный агент, который не только пагубно воздействует на организм человека, окружающую среду, но и приводит к преждевременному износу механизмов и оборудования [26]. В связи с этим возникает необходимость в применении методов удаления, как ликвидирующее мероприятие, и подавления, как профилактическая мера, мелкодисперсных частиц пылеобразующей дисперсии в воздухе. К таким методам относятся непосредственное механическое воздействие на пыль (например, фильтрация воздуха), а также физико-химические методы борьбы (подразумевающие физические явления и химические реакции на поверхности дорожного полотна).

Физико-химические методы представляют собой прямые профилактические меры, предотвращающие пылеобразование на какой-либо поверхности, и являются наиболее востребованными в области дорожной сферы, так как не требуют строительства дополнительных сооружений или привлечения большого количества специальной техники. В основном данные методы представляют собой комплекс операций по орошению поверхности некоторым активным компонентом, однако существуют так же методики механического перемешивания поверхностного слоя ПД с реагентом [27]. При классификации их можно разделить сразу по следующим признакам:

1. Агрегатному состоянию реагента (жидкое или сухое вещество);

2. Морфологической структуре применяемого активного компонента (растворы, пены, эмульсии);

3. Химическому происхождению пылеподавляющего компонента (органические, неорганические);

4. Способу нанесения реагента на поверхность пылеобразующей дисперсии (орошение поверхности ПД, механическое перемешивание с верхним слоем ПД);

5. Типу механизма предотвращения появления пыли (увлажняющие или склеивающие поверхность, пленкообразующие вещества).

Использование орошения только водой, как было сказано выше, не является достаточно эффективным способом пылеподавления. Практически выявлено, что для стабилизации результата рациональнее использовать различные виды растворов. При применении растворов (например, растворов гигроскопических солей) сущность происходящих процессов заключается в следующем: поверхностный слой ПД напитывается раствором, что, впоследствии, снижает пылеобразование. Процесс успешен, поскольку растворы солей удерживают на своей поверхности некоторое количество влаги. Увеличение влажности гарантирует отсутствие новой пыли, а также улавливанию уже имеющихся летучих взвесей, посредством их утяжеления при соприкосновении с молекулами воды и оседания. Длительность эффекта составляет несколько дней, затем операцию необходимо повторить. В данном виде обработки так же имеются недостатки, например, высокая коррозионная активность солей, а также кристаллизация солей у поверхности и последующее их вымывание, приводящее к сокращению срока службы метода [28].

Другим активным компонентом вводимым в растворы принципиально иного характера действия является поверхностно-активные вещества (ПАВ) [29, 30]. Принцип действия метода заключается в следующем, молекулы воды, окруженная молекулами ПАВ захватывает пыль. Мицеллы, захватившие частички ПД, утяжеляются и оседают, образуя на ней пленку, защищающую в последующем от повторного пылеобразования. Стоит отметить, что в работе [30] описан частный случай, как при подборе опытным путем оптимального давления и концентрации раствора, ПАВ

хорошо работают с гидрофобной по происхождению пылью. Однако в этом же исследовании указано, что при этих же условиях, для гидрофильной пыли применение данного класса веществ неактуально.

Известно использование битумов для пылеподавления на дорожных покрытиях [31]. Стоит отметить, что применение указанных реагентов возможно только после предварительной очистки поверхности дорог. В основном применяются битумные эмульсии, поскольку это позволяет сократить процент потребления самого битума приблизительно в половину. Здесь сущность воздействия на пыль заключается в высоких адгезионных свойствах применяемых веществ. Следовательно, пыль на поверхности ПД с пропиткой смешивается с частицами битума, образуя пленку, препятствующую эрозии дорожного покрытия. Возможны так же два способа нанесения битумных эмульсий или самого битума – орошением или механическим смешиванием с последующим уплотнением. Срок службы подобной обработки длительный и составляет до 3 месяцев [32].

В качестве альтернативы так же применяются лигнин, принцип их действия схож с действием битума – эти соединения образуют консолидированный слой (КС) на поверхности ПД, что позволяет улавливать существующие пылинки и предотвращать появление новых. Стоит отметить, что высокая эффективность этого метода осуществима при применении обработанного лигнина промышленного выпуска. При внесении данного реагента в покрытие (механическое смешение с верхним слоем ПД) длительность эффекта составляет около 6 месяцев. Несмотря на преимущество в сроке службы, существуют некоторые особенности в его поддержании: контроль влажности покрытия (поверхность при намокании становится очень скользкой и лигнин вымывается, а при засухе – хрупкой, и слой разрушается, если обработка осуществлялась только орошением).

Полимерные эмульсии так же нашли применение в процессах обеспыливания на дорогах [33–36]. Они представляют собой растворы, как на органическом, так и на водном растворителе. Принцип действия подобных составов заключается в следующем: на пропитанной поверхности грунтовых дорог образуется плёнка с высо-

кими адгезионными свойствами, которая впоследствии и улавливает пылевые частички, имеющиеся в воздухе, а также не допускает образование пыли. По комплексу происходящих процессов полимерные эмульсии близки к сочетанию свойств ПАВ и битума. Срок службы подобной обработки варьируется от 6 до 12 месяцев. К недостаткам можно отнести то, что в зимний период полимерная основа достаточно активно испаряется из-за летучести компонентов, а кроме того сразу после обработки покрытие нужно выдержать до полного высыхания. В остальном применение полимерных эмульсий для борьбы с пылью является достаточно перспективным для изучения и использования.

Таким образом, при использовании физико-химических методов пылеподавляющий эффект может быть достигнут благодаря введению особых компонентов, повышающих эрозионную остойчивость водных растворов. Такими компонентами могут быть различные вещества: гигроскопические соли, кислоты, ПАВ, лигнин, полимер, битум. Стоит отметить предпочтительное использование именно ПАВ, лигнин, битумы и полимеры, так как именно такие компоненты в состав отвечают за создание на пылящей поверхности защитной пленки.

1.3 Виды пылеподавляющих составов

Пылеобразование на промышленных объектах различного назначения является основным источником загрязнения окружающей среды, для решения поставленной проблемы, существенную роль играет применение специальных реагентов – пылеподавляющих составов (ПС). Для выявления основных видов продукции для пылеподавления был проведен литературный анализ как зарубежных, так и российских научных источников, и рынка. В ходе поиска был обнаружен ряд публикаций, описывающих полимерные пылеподавляющие составы на водной основе. Анализ результатов экспериментальных исследований позволил структурировать публикации по пылеподавляющим составам по следующим критериям:

- *по виду продукции*: растворы, пены, эмульсии;

– по природе основного функционального компонента: на основе неорганических компонентов (соли, щелочи, кислоты) и на основе органических (битумы, полимеры).

Анализ составов и свойств пылеподавляющих растворов детально отображено в приложении А, пен – в приложении Б, эмульсий – в приложении В.

К *растворам* [37–73] относятся однородные смеси, состоящие из растворённого вещества, растворителя и продуктов их взаимодействия. Классическим растворителем выступает вода (в некоторых растворах используют специфические воды – намагниченная вода [41], дистиллированная вода [3, 46, 49, 55, 57], деионизированная вода [47]). В качестве растворённого вещества применяют как органические [40, 44–46, 51–57, 61, 64–68], так и неорганические соединения (соли [37, 59, 66, 70], кислоты [43, 51], щелочи [58, 69, 73]). В общем случае, основным недостатком применения растворов является плохая устойчивость к климатическим условиям, а также отсутствие образования защитного пленочного слоя на пылящей поверхности. Существует небольшое количество публикаций с применением органических [51, 53–56] и неорганических [63, 67, 70, 73] компонентов, в которых доказано образование пленки или корки при применении реагента. Отдельно стоит отметить растворы с применением ПАВ, поскольку они являются переходными к получению пен [39, 41, 42, 47, 48, 50, 60, 71, 72].

Следующим видом продукции является *пена* [74–82], Пена на водной основе улавливает динамическую пыль. По сравнению с растворами, за счет своей воздушности, пенное пылеподавление эффективно при поглощении больших пылевых облаков, в состав которых входят частицы различной дисперсности, так как пена одномоментно воздействует на частицы различных фракций. Существенный недостаток пен – защитное покрытие, образуемое при их нанесении, не долговечно, так как после высыхания на воздухе происходит повторное пылеобразование, требующее дополнительных мер по защите пылящей поверхности. Технологической особенностью производства работ при применении пены является необходимость ее приготовления непосредственно перед применением, для чего используются специ-

ализированные установки для вспенивания (пеногенераторы) [76].

Получение пены на основе растворов в пеногенераторах является классической технологией. Для этого применяют пенообразователи – поверхностно-активного вещества и растворитель – вода, с последующим продуванием инертного газа через раствор. Применение ПАВ в составах при получении пен очень популярно [74, 75, 80, 81]. В работах [74, 81] говорится о важности контроля влажности обрабатываемого материала и сохранения стабильности пены. Основным критерием оценки эффективности пылеподавляющего состава являлась проверка пены на устойчивость. Этот показатель влияет на длительность сохранения влажности материала. Устойчивость пены достигается при продуве ее двумя видами газов (инертного и водорастворимого). Учитывалась так же устойчивость пены при разных температурах в интервале от -5°C до $+35^{\circ}\text{C}$ [74]. Полимерная добавка способна улучшить стабильность пены за счет удерживания влаги, а также увеличить срок службы пены (за счет увеличения вязкости) [81].

В работе [74] показана возможность повышения эффективности пылеподавления путем намагничивания пены. Данное технологическое решение позволяет увеличить скорость вспенивания, снизить расход пенообразователя (ПАВ), уменьшить размеров пузырьков пены, повысить однородность и стабильность пены, что, в результате, сказывается на эффективности пены, полученной на основе лаурилсульфата натрия и композиционного ПАВ как пылеподавляющего реагента.

Данный вид ПС предлагается применять для борьбы с пылью на промышленных объектах (например, свинецсодержащая пыль), где присутствуют процессы дробления и транспортировка сыпучих материалов [78].

По сравнению с традиционными методами пылеподавления (орошение), использование пены представляет собой новую эффективную технологию. Пена отличается высокими адгезионными свойствами и улучшенной смачиваемостью. Подобный новый спектр характеристик появляется исключительно благодаря специфическому составу пены, который включает следующие компоненты: вода, сжатый воздух и пенообразователь (поверхностно-активные вещества), а также до-

полнительные модифицирующие компоненты. Рациональный выбор пенообразователя позволяет добиться высокой стабильности пены, а также влияет на однородность размера пузырьков и срок действия. В тоже время, при подборе состава пены и, в частности, основного ее компонента – пенообразователя – необходимо учитывать генезис частиц ПД. Это также является сдерживающим фактором применения пен в промышленном масштабе.

Эмульсия является еще одним не менее эффективным способом для борьбы с пылью на площадках с повышенным пылеобразованием. *Эмульсия* – это микрогетерогенная, термически нестабильная водно-масляная дисперсная система, имеющая тенденцию к разрушению под действием внешних сил. Для контроля стабильности эмульсии, в том числе и во время получения, в состав вводят эмульгаторы. Для понимания принципа действия эмульсии, как пылеподавляющего реагента, необходимо ознакомиться с особенностями принципа ее получения.

Процесс синтеза эмульсии называется *эмульгированием*, которое представляет собой дробление одной жидкой фазы внутри другой с образованием большого количества мелких капель. Методику осуществляют с использованием различных механических устройств, например, смесителей или эмульгаторов.

Как говорилось ранее, на стабильность полученной эмульсии на водной основе в значительной степени влияет ее состав. Обобщенно эмульсии представляют собой следующий набор компонентов:

1. Дисперсная фаза (плёнкообразующий полимер, битум);
2. Дисперсионная среда (вода);
3. Эмульгатор (ПАВ, неорганические электролиты, высокомолекулярные вещества – для полимерных эмульсий, для битумных – вводятся ситуативно);
4. Модификаторы.

Все перечисленные компоненты подвергаются эмульгированию, высокочастотному перемешиванию двух несмешивающихся жидкостей. Эмульсии, приготовленные методом перемешивания, где дисперсной фазой является – масло, а дисперсной средой – вода, мало стабильны. Для их стабилизации применяют эмульгаторы.

Поскольку полимерные эмульгаторы (природные и синтетические) обладают как гидрофильными, так и гидрофобными характеристиками, то есть предрасположенностью к усиленным адсорбционным свойствам, они способны стабилизировать эмульсию лучше, чем мономерные ПАВ. Эмульгаторы должны адсорбироваться на поверхности капель, чтобы сформировать защитное покрытие – консолидированный слой на границе раздела фаз, предотвращающий объединение дисперсной фазы в крупные агрегаты, что влияет на стабильность эмульсий.

При синтезе дисперсий на водной основе поверхностно-активно активных веществ, находящиеся в основе дисперсии, могут увеличить смачиваемость пыли. Введение даже небольших количеств ПАВ влияет на межфазное поверхностное натяжение, вязкоупругие параметры и параметры диффузии. Кроме того, введение данного класса веществ является наиболее простым способом защиты эмульсии от коалесценции, флокуляции и седиментации. Комбинация водорастворимых полимеров с ПАВ может дополнительно улучшить пылеподавление за счет изменения адгезионно-когезионных свойств капель воды, исходя из этих соображений выбор ПАВ, при создании пылеподавляющего реагента, очень важен и стоит подробнее остановиться на существующих видах поверхностно-активных веществ.

В общем виде, ПАВ представляют собой амфифильные молекулы, которые имеют гидрофобную и гидрофильную части. Гидрофобный хвост представляет собой углеводород, фтор-углеводород или силоксан. ПАВ обычно классифицируются на основе их полярной головы, поскольку гидрофобные хвосты часто похожи. Если головная группа не имеет заряда, ПАВ называют неионогенным (НПАВ). Если головная группа имеет отрицательный или положительный заряд, она называется анионактивными (АПАВ) или катионактивными (КПАВ) соответственно. Из-за своей амфифильной природы поверхностно-активные вещества абсорбируются на границе воздух–вода или масло–вода. На границе раздела поверхностно-активные вещества выстраиваются таким образом, что гидрофобная часть находится в воздухе (или масле), а гидрофильная часть – в воде.

Более активно эмульсии в последнее время стали применяться для обеспыли-

вания дорог с грунтовым, щебеночным и гравийным типами покрытий (переходный тип покрытия). Данное обстоятельство связано с сочетанием в эмульсионных композициях максимального объема функциональных характеристик, которые позволяют качественно удалять пылевое загрязнение любой сложности на длительное время.

В качестве основного компонента при получении пылеподавляющих эмульсий на водной основе могут выступать как битумы – битумные эмульсии, так и полимеры – полимерные эмульсии.

Битумные эмульсии на водной основе. Битумная эмульсия – это дисперсная битумная фаза в несмешивающемся водном растворе, эмульгируемом ПАВ при различных объемных долях.

Проблематика применения битумных эмульсий выражается в их высокой степени опасности для окружающей среды. В процессе движения транспорта и при выпадении осадков на обработанной поверхности происходит испарение токсичных компонентов битумной эмульсии.

В работе [83] авторами был предложен состав на основе нефтяного битума, эмульгатора (щелочной раствор сульфанола) и воды, применяемый в угольной промышленности. Эмульсию необходимо наносить на пылящую поверхность одновременно с водной суспензией, которая содержит в составе частички пыли обрабатываемой поверхности. Пылеподавляющая способность битумной эмульсии оценивалась опытным путем по ряду испытаний пленки на прочность, морозостойкость, устойчивость к ультрафиолетовому излучению и ветровой эрозии. Эффективность обеспыливания описанного образца составила 98,6 %.

Применение битумных эмульсий возможно на золоотвалах для укрепления грунта. Так в работе [84] был предложен состав битумно-полимерной эмульсии для этих целей. В состав данного пылеподавителя входят анионная битумная и латексная эмульсии в различных соотношениях. Авторами на основании результатов испытаний на морозостойкость, по расходу эмульсии и толщине защитной пленки экспериментально доказывается, что оптимальной является битумно-латексная ани-

онная эмульсия состава 50 % битумной анионной эмульсии и 7 % латексной эмульсии (по массе битумной эмульсии). Добавление в систему латекса, обеспечивает повышение прочности пленки при высоких летних температурах и морозостойкость до -35°C , без увеличения расхода эмульсии. Оценка пылеподавляющей способности основывалась на результатах расчёта минимальной динамической скорости ветра на поверхности золоотвалах.

При обеспыливание дорожных покрытий переходного типа применяются битумные эмульсии, дополнительные преимущества достигаются модифицированием способа нанесения. Оно происходит в две стадии: нанесение битумной эмульсии (осуществляется после ремонтного профилирования, с последующим перемешиванием автогрейдером, чистовым профилированием поверхности и укаткой катком) и затем в качестве защитного слоя – эмульсионно-зольной суспензии, для ее закрепления дополнительно применяется защитная посыпка [85]. Применение такого способа нанесения обеспечивает износостойкий и водопроницаемый КС толщиной 8–10 мм. Обеспыливающий эффект проверялся весовым способом.

Полимерные эмульсии на водной основе. Полимерные эмульсии получают путем полимеризации мономера в среде растворителей различного типа, например, воде. Помимо пылеподавления данные эмульсии повышают прочность дорожного покрытия, склеивая между собой грунтовые зерна, образуя поверхностную защитную плёнку. Застывшая система из грунтовых частиц и полимерной эмульсии показывает высокие пылеподавляющие характеристики, достигнутые за счет повышения таких свойств как поверхностное натяжение, смачиваемость (по критерию краевого угла смачивания) и прочность, а также ряду других. Применение эмульсий возможно во многих пылеобразующих массивах, таких как угольно-перерабатывающие предприятия, карьеры, автодороги. Они отлично служат для борьбы с ветровой эрозией минеральных отложений, содержащихся в открытых транспортных тележках, а также на других различных участках, где возможно пылеобразование мелкодисперсных частиц.

В работах [86–98] авторами были предложены различные составы пылеподав-

ляющих эмульсий на водной основе, включающие широкий спектр функциональных добавок и основных компонентов. Как говорилось выше, на функциональную эффективность эмульсии сильное влияние оказывает ее состав, правильно подобранные компоненты могут привести к желаемому результату и помочь при борьбе с пылью.

Так, в работе [86] была проведена разработка пленкообразующей дисперсии растительных полимеров на водной основе, содержащая в составе лак ПЭ-064, этиленгликоль и воду. Введение этиленгликоля позволило использовать реагент при отрицательных температурах (до -15°C). Основными свойствами, доказывающими пылеподавляющую способность состава, являлись: размер частиц, вязкость, время высыхания состава, прочность на изгиб и твердость защитной полимерной пленки. Авторами отмечено, что размер частиц дисперсии и величина электрического потенциала двойного электрического слоя влияет на пленкообразующую способность и устойчивость системы в целом. Чем меньше размер частицы, тем выше заряд частиц на их поверхности, тем лучше пленкообразующая способность. Устойчивость данного параметра в дальнейшем предсказывает эффективность пылеподавления.

В качестве защиты пылящих поверхностей полиминерального состава, авторами работы [87] был предложен состав на основе акриловых систем. Полученную пленку испытывали на прочность, эрозионную устойчивость, долговечность; исследовали её поверхностное натяжение, краевой угол смачивания и потерю веса. Оптимальное значение этих показателей было достигнуто благодаря введению в состав ПАВ и загустителя (оксиэтилцеллюлоза). За повышение прочности защитной полимерной пленки отвечает вяжущее – сополимер винилацетата с виниловыми эфирами высших карбоновых кислот.

Составы на основе сульфитно-дрожжевой бражки применяются для обеспыливания дорожных покрытий [84] и в горном деле [94]. Так в работе [90], после синтеза эмульсии образцы грунта (гравийно-песчаная смесь) перемешивали с готовым составом и после выдержки в пресс-форме. Пылеподавляющую способность оценивали по остаточной влажности, определяемой по изменению массы обработанных

образцов с течением времени. В статье [94] основной компонент дополнен соапстоком растительного масла и нитритом натрия, которые повышают пылеподавляющую способность.

Составы на основе дитретичного бутилфенола применяются в угольной промышленности [91, 92]. Стабилизацию такой эмульсии осуществляют путём введения полибутилметакрилата [91] и полиакриламида [92], которые так же улучшают показатель смачиваемости. Кроме того, в работе [92] в состав дополнительно вводилась натриевая соль алкилсульфокислот, которая предотвращает повторное взметывание пыли, повышает осаждение и связывание пыли с эмульсией.

В работе [93] авторами был предложен состав пылеподавляющей эмульсии на основе полимерного связующего – КОРС (кубовый остаток ректификации стирола) с добавлением солей жирных кислот или ПВС. Применение состава возможно на различных типах грунта (песок, супесь или тяжелый суглинок). Авторами был описан механизм формирования полимерного защитного слоя. Он заключается в проникновении состава эмульсии вглубь пылящей поверхности, затем пылеподаватель распадается на основные составляющие (КОРС, эмульгатор и вода). Далее основной компонент полимеризуется и склеивает частички пыли в крупные агрегаты.

В зарубежной практике так же применяют пылеподавляющих эмульсий на водной основе. Так, в работах [95–98] основным компонентом служат катионный и анионный полимеры, а так же алкиловый эфир жирных кислот. Эмульсия сополимера представляет собой гидрофильную и биоразлагаемую смесь, которая полимеризуется в виде необратимой эластомерной структуры вследствие испарения или высыхания. Пылеподавление оценивалось по различным параметрам. В работе [95] была проведена оценка нескольких косвенных параметров (поверхностное натяжение, рН и скорость смачивания), но главной характеристикой, описывающей эффективность пылеподавления, было влагоудержание. В публикациях [97, 98] оценка пылеподавляющей способности производилась по продолжительности пылеподавления и сухому остатку.

В работе [98] был предложен состав эмульсии, обеспечивающий снижение ин-

тенсивности испарения жидкостной оболочки за счет использования высокомолекулярных соединений (ВМС). Вводя их в систему, авторы добивались повышения плотности жидкости и неизменности размера капель, что и обеспечивает высокие показатели пылеподавления при повышенных скоростях движения. Эффективная концентрация ВМС, показывающая наилучшие показатели пылеподавления, составила 0,2–0,4 %. При введении меньшего количества происходит увеличение вязкости системы, что вызывает понижение эффективности распыления и, как следствие, снижается показатель пылеподавления.

Опыт создания эмульсий для различных областей применения (лакокрасочная промышленность, охрана труда (в горной промышленности), фармацевтика, геотехнология) достаточно изучен [99–111], однако остаются не до конца изученными составы для обеспыливания неорганических дисперсий аэрозольного типа (пылеобразующих дисперсий).

Таким образом, разнообразие применяемых веществ в качестве дисперсной фазы пылеподавляющих эмульсий – битумы, алкидные системы, КОРС, сульфитно-дрожжевая бражка, дитретичный бутилфенол, растительные полимеры и т.д., а также эмульгаторов и модифицирующих веществ, позволяет регулировать свойства самих эмульсий, так и защитной плёнки на их основе, что определяет эффективность пылеподавляющей способности продукта с учетом состава и дисперсности пыли.

1.4 Механизм действия пылеподавляющих составов различных видов

Для разработки эффективных пылеподавляющих составов необходимо понимание механизма действия тех или иных реагентов, которые, в свою очередь, определяются спецификой их морфологии и состава (рисунок 1.2).

В случае применения эмульсии, испарение и впитывание реагента играет существенную роль, также, как и в случае применения раствора. Однако использование эмульсии позволяет обеспечить связывание пыли как на пылящей поверхности, так и в ее толще, с образованием защитной корки – консолидированного слоя, чего нельзя сказать о растворах и пенах.

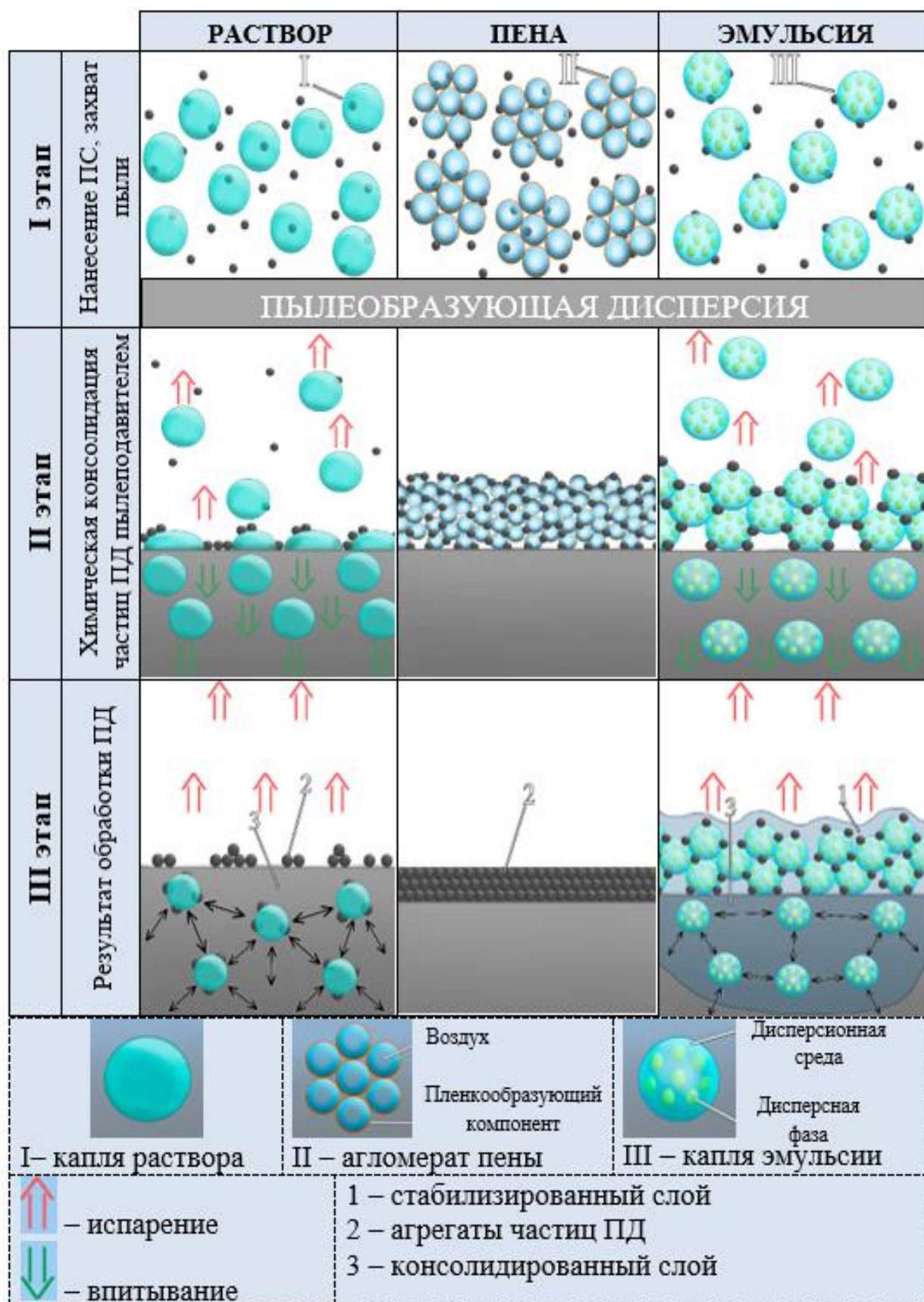


Рисунок 1.2 – Механизмы действия пылеподавляющих составов на ПД в зависимости от типа реагента и специфики его морфологии [16]

Обеспыливание пылеобразующих дисперсий полимерными эмульсиями происходит в результате нескольких последовательных физико-химических процессов. При потере полимерной дисперсией агрегативной устойчивости в результате десорбции ПАВ с поверхности полимерных частиц, адсорбции их на поверхности минеральных частиц, удаления воды и других процессов, происходит коагуляция диспергированных мономеров. Адсорбированный сополимер на поверхности частиц ПД, формирует консолидированный защитный слой. После высыхания модифицированного покрытия ПД происходит адсорбция модификаторов. Хемосорбция полимерных молекул на поверхности частиц ПД с участием компонентов дисперсии, способных придать адгезию частичкам пыли, и компонентов, которые обеспечивают отверждение сополимера, способствует структурированию полимерной матрицы с формированием устойчивой трехмерной сетки.

Этап III. На данном этапе хорошо прослеживается разница эффективности пылеподавления всех трех рассматриваемых реагентов. В результате применения растворов основная часть состава проникает в толщу покрываемой реагентом поверхности, тем самым происходит стабилизация ПД в толще. Составы, в которых основой выступают неорганические компоненты (соли, кислоты или щелочи), не способны создавать прочный защитный КС, такие системы менее устойчивы к осадкам, а сформированные агрегаты быстрее подвергаются повторному разрушению и пылению. Композиции, формирующиеся при взаимодействии с растворами на основе органических компонентов, имеют более длительный срок. Часть раствора, впитавшегося в грунт, обеспечивает его стабилизацию. Механизм связывания неорганическими реагентами частиц ПД, представляющих собой слоистые алюмосиликаты (глинистые минералы), аналогичен процессам стабилизации грунтов, при котором происходит химическое взаимодействие неорганического вещества с глинистыми частицами с формированием кристаллических новообразований, и, как следствие, образованием из высокодисперсных частиц более крупных конгломератов.

При использовании пены следует говорить о схожести на данном этапе с растворами, пена разрушается и оставляет плотноупакованные частички пыли на по-

верхности, основная масса сформированного защитного покрытия находится на пылящей поверхности, поскольку механизм пропитки почвы компонентами пены минимален. Применение этого пылеподавляющего средства позволит создать плотную, укрепленную частицами ПД и действующими компонентами ПС, корку на поверхности. Компоненты пены практически не проникают в толщу пылящей поверхности. Данный вид реагента более эффективен (по сравнению с растворами) по захвату частиц ПД из воздуха, что связано со структурой пены.

При применении эмульсии соблюдается некий баланс, и защитный слой образуется как на поверхности, так и в объеме поверхности. Механизм действия пылеподавляющих эмульсий заключается в совокупности нескольких видов физико-химических процессов и механического воздействия. Подавление пыли в таком случае в первую очередь является результатом сочетания столкновения, смачивания, прилипания, гравитационного осаждения и других механизмов. Характер сил, действующих на основные процессы эмульсионного пылеулавливания, зависит от дисперсности пыли. В случае крупных частиц ПД, движущихся с малой скоростью, гравитация и столкновение играют важную роль, а на мелкую пыль в первую очередь влияют электростатические силы, диффузия и другие факторы. В качестве основных органических компонентов используют полимеры, олигомеры и др. За счет амфифильного свойства (молекула обладает одновременно и лиофильными (гидрофильными), и лиофобными (гидрофобными) признаками) такие добавки адсорбируются на пылящей поверхности через их неполярные частицы, а через полярные головные группы взаимодействуют с молекулами воды. Благодаря этому на пылящей поверхности образуется плёнка, противостоящая внешним механическим воздействиям. В зависимости от вида основного компонента ПС процессы формирования, в результате физико-химического формирования системы «агрегаты консолидированной пыли – защитная корка – защитная пленка» могут отличаться. В случае использования в качестве основного компонента неорганических веществ происходят процессы коагуляционно-кристаллизационного связывания, в случае применения в качестве основного функционального компонента органических мате-

риалов в пылеподавляющих средствах, происходит образование защитной пленки.

Таким образом, в ходе изучения основных физико-химических методов пылеподавления предложен механизм действия реагентов в зависимости от их состава.

1.5 Коллоидно-химические свойства пылеподавляющих полимерных эмульсий на водной основе

Несмотря на важность контроля пылеподавляющей способности того или иного состава, анализ перечня тематической литературы показал, что российские и зарубежные авторы и авторские коллективы недостаточно внимания уделяют методикам оценки свойств, как самого ПС, так и системы «пылеобразующая дисперсия – ПС». Причинами возникающих при этом затруднений и, как следствие, малого распространения темы в научных трудах, можно считать недостаточно информативную нормативно-техническую и другую регламентирующую литературу, и документацию, посвященную стандартизации методик по контролю качества пылеподавляющих составов и консолидированного слоя, образованного после их полимеризации.

Поскольку существует острая необходимость самостоятельной разработки методик контроля свойств, то подобные исследования занимают отдельный пласт, который не затрагивается в рамках данной работы. Однако целесообразно отметить, что при разработке методик определения свойств различных пылеподавляющих составов теоретически возможно опираться на существующую нормативную документацию, предназначенную для контроля качества лакокрасочных материалов, клеев или грунтовок. Важно учитывать, что все предполагаемые методики требуют непосредственной адаптации под необходимый контрольный образец.

К нормативным документам, в которых отражены методики определения свойств, способ нанесения, транспортировка, хранение и другие показатели реагентов (эмульсий, растворов, пен) которые используются для оценки качества ПС, можно отнести следующие:

– ГОСТ 33290–2015 «Материалы лакокрасочные, применяемые в строитель-

стве. Общие технические условия» [112];

– ГОСТ 58952.10–2020 «Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные. Метод определения адгезии с минеральными материалами» [113];

– ГОСТ Р 51073–97 «Покрyтия полимерные защитные изолирующие, локализирующие, пылеподавляющие и дезактивирующие. Общие технические условия» [114];

– ГОСТ 23558–94 «Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродинамического строительства» [115];

– ГОСТ Р 52056–2003 «Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол» [116];

– ГОСТ 30491–2012 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства» [117].

Таким образом, в литературе практически не затронуты аспекты описания методик контроля свойств ПС и их пылеподавляющей способности. Несмотря на это, встречаются эмпирические статьи, включающие описание полученных тех или иных свойств.

При анализе различных источников выявлен широкий спектр различных свойств, которые авторами предложено исследовать для подтверждения физико-химических, физико-механических и других свойств пылеподавляющих составов [118]. Так же было установлено, что частота применения тех или иных методик для оценки свойств варьируется от единичных случаев до многократных повторений. В зависимости от типа пылеподавляющего реагента основной набор свойств, исследуемых при их разработке, меняется, таким образом, целесообразно описать свойства, характеризующие различные типы реагентов [119].

Растворы. Пылеподавляющим растворам посвящено 37 литературных источников. Наиболее часто исследуемыми свойствами для пылеподавляющих растворов являются: поверхностное натяжение пылеподавляющего раствора, краевой угол на

границе «пылеподавляющий раствор – твердая поверхность» и вязкость раствора.

Показатель поверхностного натяжения пылеподавляющего раствора (рисунок 1.3) упоминался в 11 статьях [38, 43–46, 50, 52, 60, 63, 67, 68]. Среднее значение данного показателя составляет 33 мН/м. Значения показателя составляют: 44,174 мН/м [38]; 35,1 мН/м [43]; 26,47 мН/м [44]; 4,5 мН/м [45]. В работах [46, 50, 52, 60, 63, 67, 68] поверхностное натяжение представлено в диапазоне значений: 33,6–40,2 мН/м [46], 28,5–59,3 мН/м [50], 29,9–34,9 мН/м [52], 28–47 мН/м [60], 34,58–34,99 мН/м [71], 30–72 мН/м [67], 25–72,5 мН/м [68].



Рисунок 1.3 – Значения поверхностного натяжения пылеподавляющих растворов, указанные в различных статьях

Показатель краевого угла смачивания на границе «пылеподавляющий раствор – твердая поверхность» (рисунок 1.4) упоминался в 9 статьях, посвященных пылеподавляющим растворам [38, 39, 42–44, 46, 51, 53, 61]. Среднее значение этого показателя составляет 31,90°. Значения показателя составляют: 41,22° [38], 53° [43], до 28,01° [44], 37,5° [51]. В ряде работ показатель краевого угла представлен диапазоном значений: 10,95–27,79° [39], 6,61–23,47° [42], 83–92° [46], 27,5–50° [53], 26,81–

32,14° [61].



Рисунок 1.4 – Значения краевого угла смачивания пылеподавляющих растворов, указанные в различных статьях

Показатель pH раствора упоминался в 4 источниках [28, 31, 35, 54]. Значения данного показателя составили: от слабо кислой среды до слабо щелочной среды pH 6–8 [28], слабо щелочная среда pH 8 [31], слабокислая среда pH 5–6 [35], щелочная среда pH 11,1–12,8 [54].

В ряде работ используются показатели, связанные с взаимодействием с водой: относительная влагоёмкость, которая составила 118,7 % [33]; влагоудержание, которое составило 3,1–16,4 мл за 47–156 мин [39]; скорость смачивания пылеподавляющего раствора – 4,8 мг/с [41]; водоотдача реагента, которая составила 80–100 % спустя 5–0 ч [42]; работа растекания реагента (57 мН/м) [43]; работа смачивания пылеподавляющего раствора, показатель составил 25 мН/м [44]. Авторами работы [54] предложено изучать у пылеподавляющих растворов следующие показатели: константу скорости смачивания (0,0054–0,0065 К), снижение концентрации пыли

после обработки реагентом (на 1,7–4,2 мг/м³), влажность пыли через сутки после обработки (5,3–5,7 %).

Предлагаются различные варианты физико-механических показателей: прочность при сдвиге, которая составила 0,005–0,042 МПа; предел текучести – увеличен на 30 %; остаточное напряжение при сохранении пластичности – 30 % [40]; сопротивление раствора нагрузке, показатель составил 56,4 Н [51].

Показатели, в той или иной мере характеризующие количество пыли, удерживаемое реагентом, представлены следующими характеристиками: видимый отрыв пыли, значения данного показателя составили менее 1 мг/мин [47]; целостность слоя реагента на пылящей поверхности, показатель составил 85 % [55]; время полного осаждения пыли после распыления пылеподавляющего раствора, составляющее 4–25 мин [56]; срок службы реагента, который составил 18 суток [57]; критическая скорость массового уноса пыли равная 2–12 м/с [62]; содержание фракции пыли размером 0,63–1,6 мм после обработки, которое, согласно данным статьи, снизилось на 30 % [64]. В работах [39, 55, 66] исследована потеря массы: при повышенных температурах $t=500$ °С и составила 32,06 % [39]; при продуве в специальной установке, показатель составил потерю с 250 до 240 г [55], и 0,04 % от общей массы [66] соответственно.

В работе [59] исследована толщина слоя реагента, составляющая 2–3 см. В работе [69] контролировалась толщина защитной корки из реагента, которая составила 3–4 мм.

Изучение влияния пылеподавляющего раствора на резину автомобильных шин предложено в работе [34]. Степень влияния оценивалась по показателю набухания резины автомобилей – 6 суток, а также по коэффициенту набухания резины, который составил 1,1–1,7 %.

Измерение скорости и расстояния распыления предлагается проводить с помощью программного обеспечения FlowSizer [37], оптимальное значение составило выше 25 см. Так же в работе контролировался параметр размера капель (60–260 нм).

В двух исследованиях [43, 60] предложен контроль времени проникновения и

впитывания пылеподавляющего раствора в пылящую поверхность. Время впитывания реагента в работе [46] составило 13–18 мин. В работе [60] контролируется время проникновения на глубину от 2 до 5 см, составляющее 1–30 мин.

В работе [50] исследовано количество затонувших частиц ПД в растворе реагента, по данным статьи значение данного показателя составило 500 мг и менее каждые 60 с.

Так же проводилось исследование биоэффективности предложенного пылеподавляющего раствора, которая составила 15 растений/см² обработанной поверхности. Авторами работы [65] предложено исследовать коэффициент защиты (2,75–16,20 ед.). Период образования защитной пленки по данным этого же исследования составил 7–8 суток [66].

Для оценки степени агрегирования частиц ПД используют анализ фракционного состава грунта, позволяющий оценить слипаемость частиц ПД и их способность к агрегированию [34], оценку прочностных характеристик обработанных реагентами сыпучих материалов, являющихся источником пыли [36, 40]. Так же встречаются либо только теоретические, либо частично теоретические обоснования свойств, например, в работах [46, 58, 63]. Так оценивалась статическая устойчивость реагента [46], в тексте исследования указано, что с течением времени в реагенте появляется мягкий осадок. Используется критерий визуальной оценки прилипания частиц ПД к оборудованию [47], по данным статьи пыль не прилипает. Предлагается исследование корки образованной реагентом [52], по данным работы она пористая. Так же в этой работе исследован показатель запылённости воздуха (незначительная).

Таким образом, для пылеподавляющих растворов наиболее часто определяемыми показателями, характеризующими, по мнению авторов, качество являются поверхностное натяжение пылеподавляющего раствора, краевой угол на границе «пылеподавляющий раствор – твердая поверхность» и вязкость раствора, а также расход пылеподавляющего раствора и pH. Совокупность этих показателей позволяет определить поведение реагента при распылении и спрогнозировать его взаимодействие с

пылящей поверхностью.

Пены. В ходе литературного обзора выделено 8 статей, посвященных пылеподавляющим пенным составам [62–73].

Устойчивость пены авторами предложено контролировать тремя разными способами: по устойчивости пены при температурах от -5 до $+23$ °С, которая составила 8–22,8 [62]; по стабильности пены [63], которая после намагничивания увеличилась на 29 %; по скорости дренажа, которая составила $3\text{--}16 \text{ мл/с} \cdot 10^{-2}$ [66], что соответствует стабильной пене.

Исследователями в работах [64, 65] определялся радиус пузырьков пены, как одна из основных её характеристик: радиус пузырьков изменялся с 0,016–0,436 мм до 0,016–0,506 мм после намагничивания [61]; радиус составил 0,13–0,16 мм [63]. Как характеристический показатель указана степень расширения пены, которая составила 8–30 [65], 30–45 [66].

В работе [63] авторы так же провели исследование скорости вспенивания (до 39,5–43, после 37–42 с). Ключевой особенностью работы было применение намагничивания в процессе синтеза пены, поэтому для указанных характеристик значения приведены до и после намагничивания.

В работе [68] изучена кажущаяся вязкость пены, которая составила 715 МПа·с. Также производились замеры видимости с водительского места при применении данного ПС, которая составила 7,5 м, что является оптимальным значением при бурении в угольных шахтах.

Однородность пены в работе [69] определялась по арифметическому отклонению среднего размера пузырьков пены, которое составило 0,1–0,2 % – однородная пена. Время разложения пены по данным этой же работы составило 15 минут. В работе [70] исследовалась кратность пены, которая составила 1:50–1:95.

В работе [72] исследованы следующие свойства и получены соответствующие значения: краевой угол смачивания – изменялся от $18\text{--}55^\circ$ до $33\text{--}53^\circ$; поверхностное натяжение – 32,8–38,9 мН/м, поверхностная вязкость – 1–8 мН/м.

Таким образом, чаще всего встречается определение устойчивости пены с по-

мощью разных методов, поскольку после разрушения пены прекращается процесс пылеподавления.

Эмульсии. Для эмульсий авторами и исследователями выделяются следующие основные контролируемые характеристики [74]:

- удельный расход эмульсии;
- толщина плёночного покрытия;
- поверхностное натяжение на границе «пленка пылеподавляющей эмульсии – жидкость»;
- краевой угол смачивания на поверхности плёнки пылеподавляющей эмульсии.

Рассмотрим подробно каждый показатель. Удельный расход эмульсии в изученных источниках литературы представлен в размерности л/м². Данный показатель упоминался в 7 источниках, посвященных пылеподавляющим полимерным эмульсиям на водной основе [74–76, 78, 79, 82, 86]. Поскольку удельный расход для битумных и полимерных эмульсий примерно сопоставим, целесообразно не разделять их на категории по природе компонентов. Среднее значение расхода эмульсии составляет 3,04 л/м². В данных пяти источниках расход эмульсии ниже среднего значения и составляет: для каждого из компонентов по 6 л/м² [74]; 2 л/м² [75]; для одного слоя 2 л/м², общий расход 2,75 л/м² [76]; 1–1,5 л/м² [78]; 2 л/м² [79]; 1,2 л/м² [82]; 1,2–1,8 [86] л/м².

Среднее значение толщины пленочного покрытия равно 13,9 мм. Данная характеристика упоминается в пяти источниках: 8 мм [80]; 5–10 мм [79]; 10–15 мм [81]; 3–4 мм [82]. Авторами работы [82] предложена двухслойная обработка, поэтому толщина пленочного покрытия первого слоя равна 8–10 мм, второго – 30–50 мм.

Поверхностное натяжение на границе «пленка пылеподавляющей эмульсии – жидкость» упоминается в трех источниках: 68,4 мН/м [74]; 0,03 Н/м [80]; изменение численного значения показателя поверхностного натяжения разработанного состава, по сравнению с контрольным – на 73 % [83] (исходные значения не представлены).

Краевой угол смачивания на поверхности плёнки пылеподавляющей эмульсии составляет: 23° [74]; $18\text{--}23^\circ$ [79]. Полученных данных, безусловно, недостаточно, однако можно сделать заключение, что эмульсии должны быть гидрофильными, для достижения лучшего эффекта пылеподавления.

В каждой из изученных работ авторами предложен дополнительный ряд свойств, оказывающих влияние на пылеподавляющую характеристику эмульсий на водной основе. В работах [74, 78] предложено исследование морозостойкости, составы выдержали по 30 циклов каждый. В работах [74, 75] указан параметр вязкости, который составил $10\text{--}25$ с [74] и $4,5\text{--}5,7$ с [76]. В работах [78, 83] авторами предложено исследование плотности, при этом значения данного показателя составили $1,049$ г/см³ [78] и 1345 г/см³ [83]. Оценка времени пылеподавления была осуществлена в работах [78, 81] и показатель составил $1\text{--}6$ месяцев [78] и 3 месяца [81] соответственно.

Авторами работы [76] проведены исследования таких свойств как размер частиц эмульсии ($70\text{--}90$ мкм), массовая доля нелетучих веществ в составе ($43\text{--}47$ %), время высыхания состава (3 часа), эластичность образованной составом пленки при изгибе (1 мм), твердость пленки ($0,2\text{--}0,3$ у.е.). В работе [78] авторы исследовали сроки схватывания (начало – через 9 минут после нанесения, окончание – $1,3$ часа) и устойчивость к эрозии (не менее $9,2$ %).

В работе [74] состав проходил испытание на прочность при сжатии при этом получено значение показателя 29 кПа, а также измерялась скорость испарения в сушилке (испарилось $0,027$ % состава за 10 часов – состав практически не испаряется), кроме того авторы определяли естественную разлагаемость состава (потеря массы 60 % через месяц – отвечает приемлемой степени разложения).

Исследователями работы [75] изучена глубина проникновения эмульсии в пылящую поверхность при 20°C , показатель равен $15\text{--}16$ мм, время проникновения состава эмульсии составило $1,5\text{--}3$ минуты. Так же авторы определяли остаточную влажность состава, нанесенного на пылящую поверхность: спустя 28 суток, показатель составил $4,9\text{--}5,5$ %.

В работе [76] предложено изучение температуры замерзания (кристаллизации) эмульсии (7,2 °C), а также контроль времени охлаждения до начала замерзания (65 минут).

Авторами работы [78] дается оценка срока жизни эмульсии – 5 суток. Исследователями в работе [79] контролировалась скорость смачивания пылящей поверхности эмульсией (по данным работы показатель составил 40–44 мг/с), коррозионное воздействие на металлы не наблюдается. Влагоудержание оценивается в работе [80] как влажность: сразу после нанесения на поверхность – 6,06 %, спустя 48 часов – 6,41 %, спустя 72 часа – 10,7 %, спустя 10 дней – 3,71 %. Изучение остатка пыли после обработки пылящей поверхности в течение 2–14 минут [82], позволило установить значение 65,7 %.

Встречаются качественные характеристики, не имеющие численных значений. В работе [76] эмульсии давали визуальную оценку кинетической стойкости – эмульсия не расслаивается (стабильна) с течением времени.

На основе вышесказанного, можно вывести перечень свойств, которые необходимо учитывать, при разработке составов, синтезе и применении пылеподавляющих эмульсий: удельный расход эмульсии, толщина пленки, поверхностное натяжение и краевой угол смачивания. Однако данные характеристики в полной мере не описывают пылеподавляющий эффект. Корректно будет дополнить данный список такими свойствами как: прочность и твердость пленки; плотность и срок жизни эмульсии; глубина проникновения пылеподавляющей эмульсии в покрытие.

Таким образом, для растворов и эмульсий есть схожий перечень контролируемых свойств, таких как: удельный расход реагента, поверхностное натяжение и краевой угол смачивания. В растворах наиболее часто дополнительно контролируются свойства вязкости и pH среды, а в эмульсиях – толщину пленки. Для пылеподавляющих пен наиболее важной характеристикой является устойчивость пены. Однако, совокупность представленных свойств лишь косвенно влияет на свойство пылеподавления.

1.6 Выводы

1. В ходе изучения российской и зарубежной научной литературы по созданию пылеподавляющих реагентов обоснована актуальность данной тематики. На основании анализа литературных источников, рассматривающих вопросы синтеза химических средств для пылеподавления на водной основе, получения растворов, пен и эмульсий на органической и неорганической основах, защищающих от ветровой эрозии и повторного поднятия частиц ПД в воздух, выявлены разночтения в понимании ряда определений, используемых для описания процессов пылеподавления, предотвращения пылеобразования, в связи с чем, проведен анализ терминологических вопросов. Предложены классификации пыли; методов снижения ее концентрации и предотвращения пылеобразования на промышленных объектах; ПС по виду основного компонента (агрегатного состояния реагента) и виду продукции (морфологической структуре применяемого реагента).

2. Проведен многокритериальный анализ результатов разработок ПС на водной основе, применяемых методик их оценки и результатов экспериментальных исследований, а также эффективности их применения в контексте различных видов пылеобразующих объектов. Публикации и собранный эмпирический материал обобщены и структурированы по следующим критериям: терминологические вопросы; вид основного компонента, модификатор, функциональный дополнительный компонент (для растворов); основной компонент, модификатор растворитель (для пен); дисперсная фаза, дисперсионная среда, эмульгатор, модификатор дисперсионной среды, модификатор дисперсной фазы (для эмульсий); физико-химические свойства и методы оценки пылеподавляющей способности составов в зависимости от их морфологической структуры; технологические особенности получения и применения пылеподавляющих составов.

3. Показано, что разнообразие применяемых веществ в качестве дисперсной фазы пылеподавляющих эмульсий – битумы, КОРС, сульфитно-дрожжевая бражка, дитретичный бутилфенол, растительные полимеры, алкидные системы и т.д., а так-

же эмульгаторов и модифицирующих веществ, позволяет регулировать свойства как самих эмульсий, так и защитной плёнки на их основе, что определяет эффективность пылеподавляющей способности продукта с учетом состава и дисперсности пыли. Пылеподавляющий эффект может быть достигнут благодаря введению компонентов, повышающих эрозионную стойкость водных растворов. Такими компонентами могут быть различные вещества: гигроскопические соли, кислоты, ПАВ, лигнин, полимер, битум. Стоит отметить предпочтительное использование именно ПАВ, лигнина, битумов и полимеров, так как именно такие компоненты в составе отвечают за создание на пылящей поверхности защитной пленки.

4. Представлены обобщенные версии механизмов взаимодействия ПС на водной основе (растворы, пены, эмульсии) с ПД, их влияния на процессы формирования защитного консолидированного слоя (покрытия), показаны преимущества и недостатки различных реагентов и их влияния на длительность пылеподавляющей способности. Проведено ранжирование пылеподавляющих составов различной морфологической структуры по сложности технологии получения составов, эффективности захвата пыли в процессе обработки ПД, длительности действия ПС.

5. В большинстве рассмотренных работ для всех видов ПС существует схожий перечень контролируемых свойств, таких как: удельный расход реагента, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, глубина проникновения в ПД.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты исследования

Объектами исследования настоящей диссертационной работы являются пылеподавляющая эмульсия алкидной смолы на водной основе и ее составляющие. В качестве дисперсной фазы использовалась алкидная смола ГФ–0123, производства Allnex Belgorod LLC. Дисперсионная среда состояла из водного раствора исследуемых в работе ПАВ: IVP-314, АМР-95, поливиниловый спирт (ПВС).

В качестве контрольного образца при определении пылеподавляющей эффективности эмульсии была необходимость принять во внимание реагенты, представленные на рынке пылеподавляющих средств (ПС), с дальнейшим сравнением их характеристик. Был выбран ПС на полимерной основе – акриловая эмульсия для обеспыливания и стабилизации неорганической дисперсии марки Concentrate Polymer производства ООО «СК Дельта», ТУ 20,16,10-002-27940576-2018. Компоненты ПС представлены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Компоненты пылеподавляющей эмульсии марки Concentrate Polymer

Наименование компонента	Массовая доля, %
Этиленвинилацетат	10–25
Сополимер акриловой и малеиновой кислот	5–25
Виниловый эфир неодекановой кислоты	0–5
Вода	50–85

2.1.1 Компонент дисперсной фазы

В работе в качестве полимерного компонента *дисперсной фазы* была использована алкидная смола ГФ-0123, в состав которой входили раствор в органических рас-

творителях глицеринового полиэфира фталевой кислоты, модифицированного растительными маслами или жирными кислотами талового масла. Производителем данной смолы является Allnex Belgorod LLC, Россия, Белгородская обл., г. Шебекино. По характеристикам смола соответствует ГОСТ Р 52165-2003 «Материалы лакокрасочные. Лаки. Общие технические условия» [120] (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Характеристики смолы ГФ-0123

Наименование показателя	Значение
Внешний вид	Светло-желтая, чистая и прозрачная жидкость
Чистота смолы	Чистый и прозрачный
Массовая доля нелетучих веществ, %	50,84
Вязкость, ВЗ-246, 4 мм, при 20 °С, с	173
Кислотное число, мг КОН/г	16,2
Время высыхания до степени 3 при 20 °С, ч	12
Твердость, 24 ч при 20 °С	0,25
Цветность (LICO 690), мг/см ³	8,8
Прочность покрытия при ударе по прибору У-1, см	50
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	31

2.1.2 Эмульгаторы

В качестве эмульгатора, повышающего агрегативную устойчивость получаемой эмульсии, в работе использовались следующие добавки: IVP-314, AMP-95, ПВС.

IVP-314 эффективный эмульгатор на основе раствора аминокефира жирной кислоты в органическом растворителе, позволяющий получать устойчивую водную эмульсию с повышенными диспергирующими свойствами полимерной защитной пленки. В работе использовался IVP-314 производителя ООО «Торговый Дом

«ИНДЛАК» (таблица 2.3), добавка соответствует требованиям технических условий ТУ 2484-006-81449791-2011 [121].

Таблица 2.3 – Характеристики IVP-314

Наименование показателя	Значение
Химическая формула	Аминоэфир жирной кислоты
Внешний вид	Подвижная жидкость светло-коричневого цвета
Массовая доля нелетучих веществ, %	48–52
Кислотное число, мг КОН/г, не более	2
Аминное число, мг КОН/г, не менее	55
Растворитель	О-ксилол (ТС-1)

AMP-95 с 5 % содержанием воды водорастворимый эмульгатор, представляющий органическое соединение аминогруппу и спиртовую группу. Позволяет контролировать pH и пенообразование эмульсии. В работе использовался AMP 95 производства ООО «НаноХимИнновация». Технические характеристики приведены в таблице 2.4.

Таблица 2.4 – Характеристики AMP-95

Наименование показателя	Значение
Химическая формула	2-амино-2-метил-1-пропанол
Внешний вид	Жидкость светло-желтого цвета
Удельная масса при 25°C	0,942
Вязкость при 25°C, мПа·с	147
Вязкость при 10°C, мПа·с	561
Вязкость при –2°C	твердеет
Температура воспламенения, °C	78
Поверхностное натяжение, мН/м	37
pH	11,3

Поливиниловый спирт (ПВС) синтетический, водорастворимый полимер, получаемый путем полимеризации мономера винилацетата в поливинилацетат с последующим гидролизом ацетатных групп. В настоящей работе был применен поливиниловый спирт производства Sinopec Sichuan Vinylon Works, марка SUNDY PVA 088–05, Китай. Согласно ГОСТ 10779–78 «Спирт поливиниловый. Технические условия» [122], отвечающий марке 5/9 (таблица 2.5).

Таблица 2.5 – Характеристики ПВС

Наименование показателя	Значение
Химическая формула	$(C_2H_4O)_x$
Внешний вид	Белый порошок
Плотность, г/см ³	1,19–1,31
Вязкость, мПа·с	5,6
Молекулярная масса, г/моль	15000
рН	5

2.1.3 Модификаторы дисперсной фазы

Для ускорения реакции полимеризации ненасыщенных пленкообразователей – алкидных смол применялись катализирующие добавки – **сиккативы**. В работе для отверждения полимерного слоя, образованного на основе эмульсии, использовали сиккативы кобальта 12 % – первичный отвердитель поверхностной полимеризации и циркония 18 % – вторичный отвердитель объемной полимеризации. Характеристики отверждающих компонентов алкидной эмульсии представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Характеристики отверждающих компонентов алкидной эмульсии

Наименование показателя	Значение	
	Со 12 %	ZR 18 %
Внешний вид	Однородная жидкость сине-фиолетового цвета	Прозрачная жидкость светло-

Наименование показателя	Значение	
	Со 12 %	ZR 18 %
	без механических примесей	желтого цвета
Вязкость (при 20°C), мПа·с	100–150	55–60
Плотность, г/см ³	1,02–1,14	1,15±0,01
Растворимость в воде	Не растворим	Не растворим
Содержание металла, %	11,9±12,1	23,9–24,1
Содержание растворителя, %	60±2	65±2

2.1.4 Модификаторы дисперсионной среды

В работе в качестве модификаторов дисперсионной среды (границы раздела фаз) и улучшения пленкообразования эмульсии были использованы следующие коалесцирующие добавки: *этиленгликоль*, *глицерин* и *пропиленгликоль*. Коалесцен-ты вводились в состав эмульсии после ее приготовления, характеристики продуктов представлены в таблице 2.7. В качестве основы дисперсионной среды – *вода дистиллированная*, удовлетворяющая требованиям ГОСТ 6709–72 «Вода дистиллированная. Технические условия» [123].

Таблица 2.7 – Характеристики модификаторов дисперсионной среды алкидной эмульсии

Наименование показателя	Значение		
	Этиленгликоль	Глицерин	Пропиленгликоль
Химическая формула	C ₂ H ₄ (OH) ₂	C ₃ H ₈ O ₃	C ₃ H ₈ O ₂
Внешний вид	Бесцветная прозрачная жидкость	Бесцветная прозрачная жидкость	Бесцветная прозрачная жидкость
Плотность, г/см ³	1,114	1,258–1,261	1,0363
Температура возгорания, °C	124	160	107

Наименование показателя	Значение		
	Этиленгликоль	Глицерин	Пропиленгликоль
Температура кипения, °C	121	290	187,4
Молярная масса, г/моль	62,068	92,09	76,09

2.1.5 Компоненты пылеобразующей дисперсии

В качестве подложки для нанесения алкидной эмульсии с целью оценки ее пылеподавляющей способности использовались две поверхности с различной морфологией – стекло и образец дисперсии песчано-глинистого состава (*модельная пылеобразующая дисперсия*). Для получения модельной пылеобразующей дисперсии (ПД) с высокой степенью пылеобразования (смесь мелко- и среднедисперсной пыли) были выбраны каолиновая глина Латненского месторождения и кварц пылевидной марки Б компании ООО «ОПТ6».

Выбор компонентного состава неорганической модельной ПД обосновывался, с одной стороны, широким распространением порообразующих минералов (кварца и каолинита) в составе практически подавляющего большинства горных пород и почв земной коры, а, с другой, целенаправленной задачей рассматривать дисперсию с наличием веществ с минимальной пористостью (кварц) и с возможностью впитывать воду (каолинит). Обоснование выбора, состав и свойства пылеобразующей дисперсии с размером частиц от 0,1 до 100 мкм представлено в главе 3.2.

2.2 Методы исследования коллоидно-химических и физико-механических свойств сырьевых и синтезированных материалов

Исследования были выполнены при помощи оборудования, расположенного в лабораториях Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова, а также кафедр «Неорганической химии», «Материаловедения и технологии материалов», «Автомобильных дорог и аэродромов».

2.2.1 Методы исследования пылеобразующей дисперсии

Для оценки пылеподавляющей эффективности эмульсии алкидной смолы были изучены физико-механические и коллоидно-химические свойства неорганической модельной пылеобразующей дисперсии и установлена ее принадлежность к определенному виду пыли по классификации согласно ГОСТ 25100–95 [124].

Распределение частиц по размеру модельной пылеобразующей дисперсии определяли при помощи двух методов: лазерного анализатора Analysette 22 NanoTec Plus в диапазоне измерений от 0,01 до 2000 мкм и ситового анализа, согласно ГОСТ 12536–2014 [125]. Для проведения испытания использовали стандартный комплект сит, размерностью от 10 до 0,1 мм.

Площадь удельной поверхности определяли с использованием метода воздухопроницаемости на приборе ПСХ-11 М (SP), усредняющего размер частиц (диапазоне измерений 300–500000 см²/г). Оценка площади удельной поверхности с учётом внешней и внутренней пористости проводилась с использованием прибора BELSORP-miniX основанного на 4-х точечном методе адсорбции газов – метод Баррета-Джойнера-Халенд (БДХ).

Влажность определялась в соответствии с ГОСТ 5180–2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик» [126].

Заряд на плоскости скольжения частиц определяли по значениям ζ -потенциала с использованием лазерного анализатора Microtrac.

Оценка **сорбционной емкости** производилась методом поглощения ионов СаО из известкового раствора.

Оценка **донорно-акцепторной способности** проводилась по характеру распределения кислотных и основных центров адсорбции бренстедовского и льюисовского типа. Данная методика основана на адсорбции одноосновных индикаторов, которые позволяют определить величину кислотности и основности поверхности. В работе использовались индикаторы в диапазоне –4,4...+17,2 рКа. Оптическая плотность растворов для количественного определения центров адсорбции измерялась с использованием спектрофотометра в ультрафиолетовых и видимых областях спек-

тра с помощью спектрофотометра LEKI SS1207.

2.2.2 Методы исследования дисперсной фазы

При определении свойств алкидной смолы как эмульгирующего компонента разрабатываемой алкидной эмульсии была необходимость получить первоначальные характеристики и сопоставить их с техническими требованиями, указанными в ТУ 20.16.40–001–22221575–2018 на алкидные глифталевые смолы, для оценки соответствия продукта. Для чего был применен ряд нормативных документов.

Определение **твёрдости** алкидной пленки производили при помощи маятникового твердомера для лакокрасочных покрытий по методу Кенига-Персоза «Константа МТ1» в соответствии с ГОСТ 5233–2021 [127]. Для проведения измерений был выбран маятник Кенига, который после установки его на поверхность образца отводится на 6°. Время затухания колебаний маятника высчитываются автоматически до момента его отклонения на 3°.

Оценка **адгезии** осуществлялась при помощи метода поперечного надреза алкидной пленки. Оценка разрушения пленки оценивается согласно ГОСТ 31149-2014 [128].

Эластичность при изгибе алкидной пленки оценивали согласно методике, описанной в ГОСТ 6806-73 [129] при помощи установки (тип Б) с закрепленными 12-тью стальными хромированными стержнями.

Время высыхания алкидной смолы оценивали согласно методике, описанной в ГОСТ 19007-73 [130]. Время высыхания полимерного покрытия фиксировали до степени 3 (ч).

Определение **условной вязкости** алкидной эмульсии осуществляли при помощи вискозиметра типа ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм в соответствии с ГОСТ 8420-2022 [131].

Определение **массовой доли нелетучих веществ** осуществляли согласно методике, описанной в ГОСТ 31939–2012 [132].

Эмульгирующую способность алкидной смолы определяли путем получения

на ее основе двухкомпонентной эмульсии с последующим ее центрифугированием и визуальной оценкой на предмет расслоения. Центрифугирование производили в лабораторной центрифуге Liston C2205.

Оценка *дисперсности* производилась с помощью поляризационного микроскопа ПОЛАМ Р-312, исследование проходило при проходящем свете. Для исследования образец помещали на предметное стекло, после чего накрывали покрывным стеклом и фотографировали. Размер капель определяли по полученным снимкам при помощи масштабной линейки.

2.2.3 Методы исследования эмульсии

Приготовление алкидной эмульсии на водной основе осуществлялось путем высокоскоростного перемешивания при помощи лабораторного смесителя Silverson L5m-A, с использованием насадки «сито для эмульгирования». Для синтеза эмульсии были использованы ряд устройств: для непрерывного поддержания заданной температуры эмульгирования был применен термостат-циркулятор Huber MPC-202C, а для приготовления 2-х компонентного раствора – мешалка магнитная с подогревом AREC.T Velp. В качестве емкости для приготовления эмульсии был использован стакан-рубашка.

Срок жизни эмульсии оценивали по ее *агрегативной устойчивости* путем визуальной оценки отслаивания дисперсной фазы от времени.

Определение *динамической вязкости* алкидной эмульсии производилось на ротационном вискозиметре Rheotest RN 4.11. Измерение производили при помощи цилиндрической измерительной системы, при этом исследуемое вещество подвергалось сдвигу в зазоре между вращающимся внутренним и неподвижным наружным цилиндром. Градиенте среза 600 с^{-1} . Для построения графика были выбраны значения вязкости при наборе и спаде значения градиента среза. Вязкость рассчитывалась по уравнению Шведова-Бингама.

Значение *угла смачивания* и *свободной энергии поверхности* определяли при помощи оборудования – Kruss DSA 30 при использовании программного обеспече-

ния ADVANCED. Для измерений в качестве тестовых жидкостей были использованы жидкости разной полярности – дистиллированная вода и дийодометан. Программа ADVANCED на основании всех проведенных измерений методом ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле) автоматически определяет среднее значение свободной энергии поверхности.

Для оценки *пылеподавляющей эффективности эмульсии и консолидированного слоя*, образованного после ее высыхания, в работе были использованы методики по ГОСТ Р 51037–97 [133]. Помимо вышеперечисленных, в главах 4.1 и 4.2 предложен комплекс косвенных и прямых методов оценки консолидированного слоя.

2.3 Выводы

1. С целью исследования возможности получения алкидной эмульсии на водной основе в качестве атмосферостойкого, эластичного, с высокой механической прочностью и хорошо отверждающегося на воздухе компонента в качестве дисперсной фазы использовалась алкидная смола ГФ-0123, в состав которой входит раствор органических растворителей глицеринового полиэфира фталевой кислоты, модифицированный растительными маслами или жирными кислотами талового масла (смола соответствует ГОСТ Р 52165–2003; производитель Allnex Belgorod LLC).

2. В качестве эмульгатора, повышающего агрегативную устойчивость и регулирующего уровень pH получаемой эмульсии, в работе исследовались ПАВ: IVP-314 (ТУ 2484-006-81449791-2011; ООО «Торговый Дом «ИНДЛАК»), AMP-95 (ООО «НаноХимИнновация»), поливиниловый спирт (ПВС) марки SUNDY PVA 088–05 (ГОСТ 10779–78; Китай).

3. Для отверждения алкидной эмульсии использовались сиккативы кобальта и циркония. В качестве модификаторов дисперсионной среды и улучшения пленкообразования эмульсии были проанализированы коалесцирующие добавки: этиленгликоль, глицерин и пропиленгликоль.

4. В качестве подложки для нанесения алкидной эмульсии с целью оценки ее пленкообразующей и пылеподавляющей способностей использовались две поверхно-

сти с различной морфологией – стекло и модельная дисперсия кварц-каолинитового состава. Для получения последней использовали каолиновую глину Латненского месторождения и кварц пылевидный марки Б (ООО «ОПТ6»). Выбор компонентного состава минеральной модельной дисперсии обосновывался, с одной стороны, широким распространением породообразующих минералов (кварца и каолинита) в составе практически подавляющего большинства горных пород и почв земной коры, а, с другой, целенаправленной задачей рассматривать дисперсию с наличием веществ с минимальной пористостью (кварц) и с возможностью впитывать воду (каолинит).

5. Для изучения коллоидно-химических и физико-механических свойств разработанной эмульсии алкидной смолы были проведены исследования в соответствии с общепринятыми методами коллоидной химии, а также со стандартными методиками оценки свойств сырьевых и синтезированных материалов лакокрасочной промышленности. Оценка пылеподавляющей эффективности эмульсии помимо известных методик по оценке защитных полимерных покрытий, наносимых на пылеобразующую дисперсию, использовались косвенные и прямые методики, из нормативных документов смежных отраслей, адаптированные для решения задач, поставленных в исследовании.

3 РАЗРАБОТКА СОСТАВА И МЕТОДА ЭМУЛЬГИРОВАНИЯ ПЫЛЕПОДАВЛЯЮЩЕЙ АЛКИДНОЙ ЭМУЛЬСИИ

Проведенный многокритериальный анализ результатов разработок пылеподавляющих составов (ПС) на водной основе, применяемых методик их оценки и результатов экспериментальных исследований, а также эффективности их применения в контексте различных видов пылеобразующих объектов позволил провести ранжирование реагентов различной морфологической структуры по сложности технологии получения, эффективности захвата пыли в процессе обработки неорганической пылеобразующей дисперсии, действия полимерной пленки с учетом протекания физико-химических процессов взаимодействия основных компонентов реагента с частицами пыли.

Исходя из предполагаемой области использования эмульсии, необходимо получить продукт с высокой распределяющей способностью (наименьшая вязкость при максимальном содержании алкидной смолы), который будет способен образовывать на пылеобразующей дисперсии (ПД) прочную полимерную пленку. Кроме того, от вязкости напрямую зависит технологичность пылеподавляющей эмульсии (возможность применения распылительных систем и установок промышленного типа) и скорость проникновения алкида в толщу ПД (рисунок 3.1).

Получение эмульсии с требуемой пылеподавляющей способностью, характеризующейся высокой адгезивностью и укрывистостью, возможно за счет достижения в составе избытка алкидной смолы, для чего ее необходимо модифицировать при помощи коалесцента-пластификатора в водной системе эмульгатора – воскоподобного короткоцепочечного неионогенного ПАВ. Это обеспечит способность к формированию при повышенной температуре твердых оболочек на поверхности частично растворимых в воде капель алкидной смолы, а также сиккатива, способного выступать катализатором окислительной полимеризации масляных компонентов в составе алкидной смолы. В совокупности это даст высокую концентрацию полимера в эмульсии и сохранит ее способность к агрегации неорганической пылеобразующей дисперсии. Это и явилось *рабочей гипотезой* данного исследования.

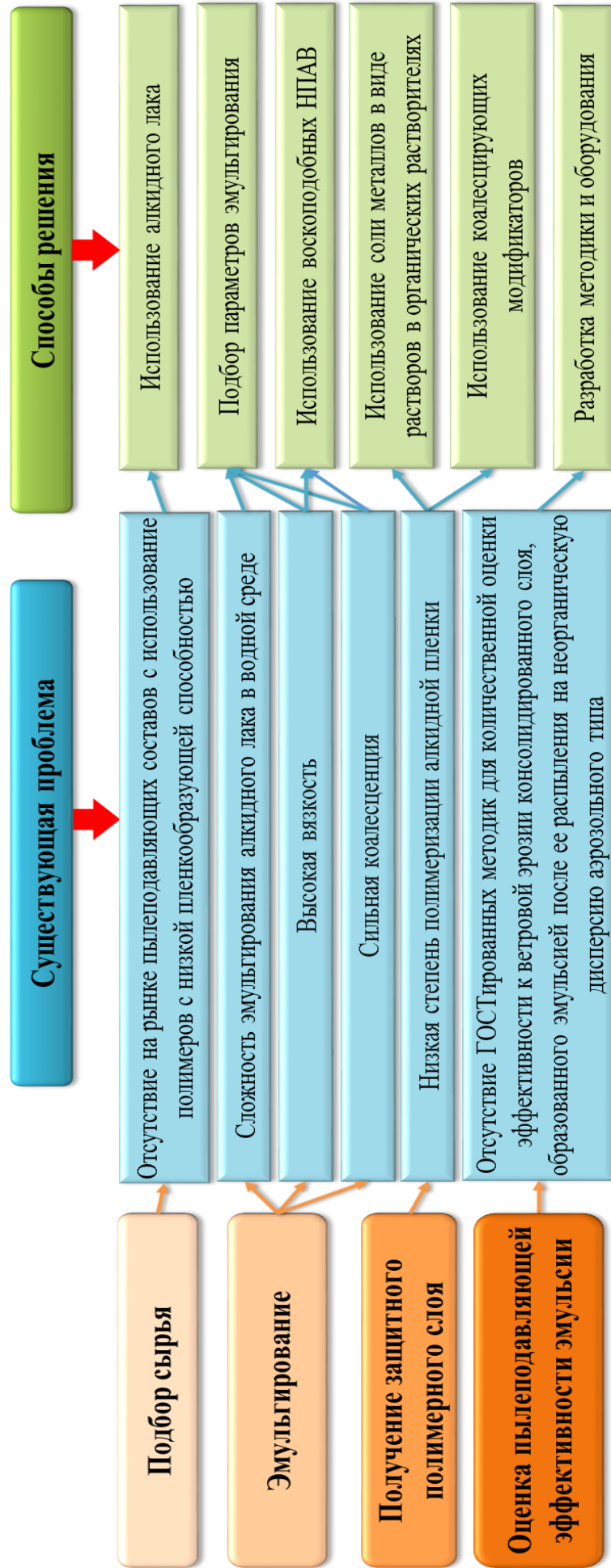


Рисунок 3.1 – Проблемы создания концентрированных алкидных эмульсий и способы их решения

3.1 Концепция дизайна исследования для проведения сегментированного эксперимента

Применение полимеров в составе эмульсий с целью повышения эффективности образуемых в конечном итоге покрытий, является распространенным приемом. Однако, алкидные смолы используются преимущественно в лакокрасочной промышленности для получения лаков и красок. С точки зрения пылеподавления алкидные смолы представляют большой интерес из-за высокой проникающей способности и смачивания тонкодисперсных компонентов (пигменты в составе красок). Отсутствие практического опыта получения эмульсий с применением алкида как основного компонента, а также особенности функционального назначения разрабатываемых составов требуют комплексного междисциплинарного подхода, подразумевающего разработку рецептурно-технологических принципов получения алкидных пылеподавляющих эмульсий на водной основе.

В этой связи на основании литературного обзора синтеза и применения эмульсии алкидной смолы с учетом прогнозирования конечного свойства алкидного консолидированного слоя был разработан дизайн эксперимента с пошаговым сопоставлением характеристик с учетом сегмента исследования (рисунок 3.2, 3.3). Декомпозиция всей исследовательской работы представлена семью этапами, логически продолжающими друг друга.

На начальном I этапе осуществлялся *анализ неорганической модельной пылеобразующей дисперсии (ПД)* для установления заданных свойств, которыми должен обладать состав пылеподавляющей эмульсии алкидной смолы. В рамках этого этапа был изучен комплекс физико-механических и физико-химических свойств ПД, состоящей из смеси минеральных частиц: распределение частиц по размеру (метод ситового анализа и гранулометрия); активная удельная площадь поверхности с учетом внешней и внутренней пористости (газопроницаемость и метод Баррета-Джойнера-Халенды); влажность; заряд частиц минеральной модельной пылеобразующей дисперсии; сорбционная емкость минеральных частиц; донорно-акцепторная способность (кислотно-основные свойства); краевой угол. Результаты данного этапа отражены в главе 3.2.

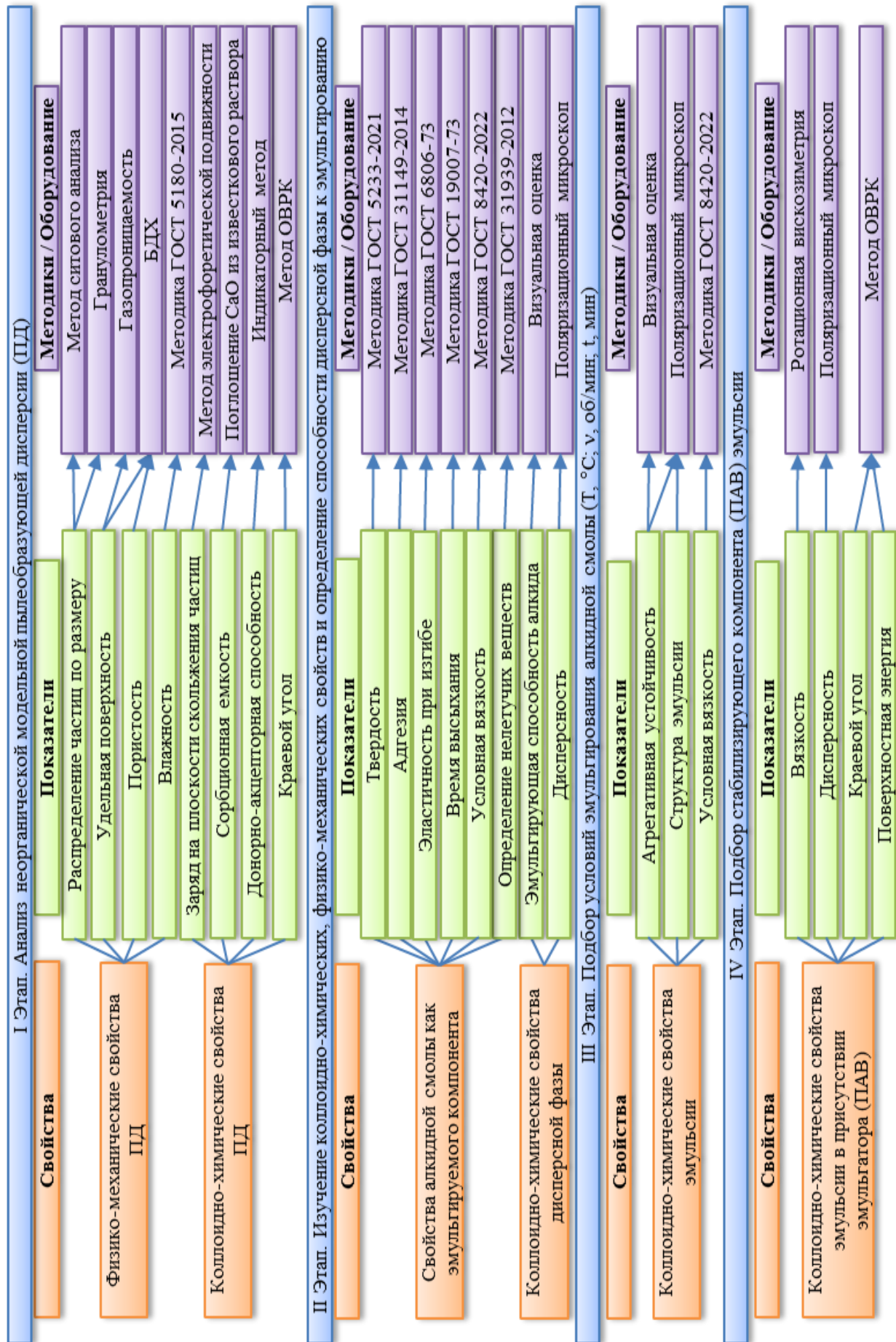


Рисунок 3.2 – Декомпозиция дизайна исследования (I–IV этапы)

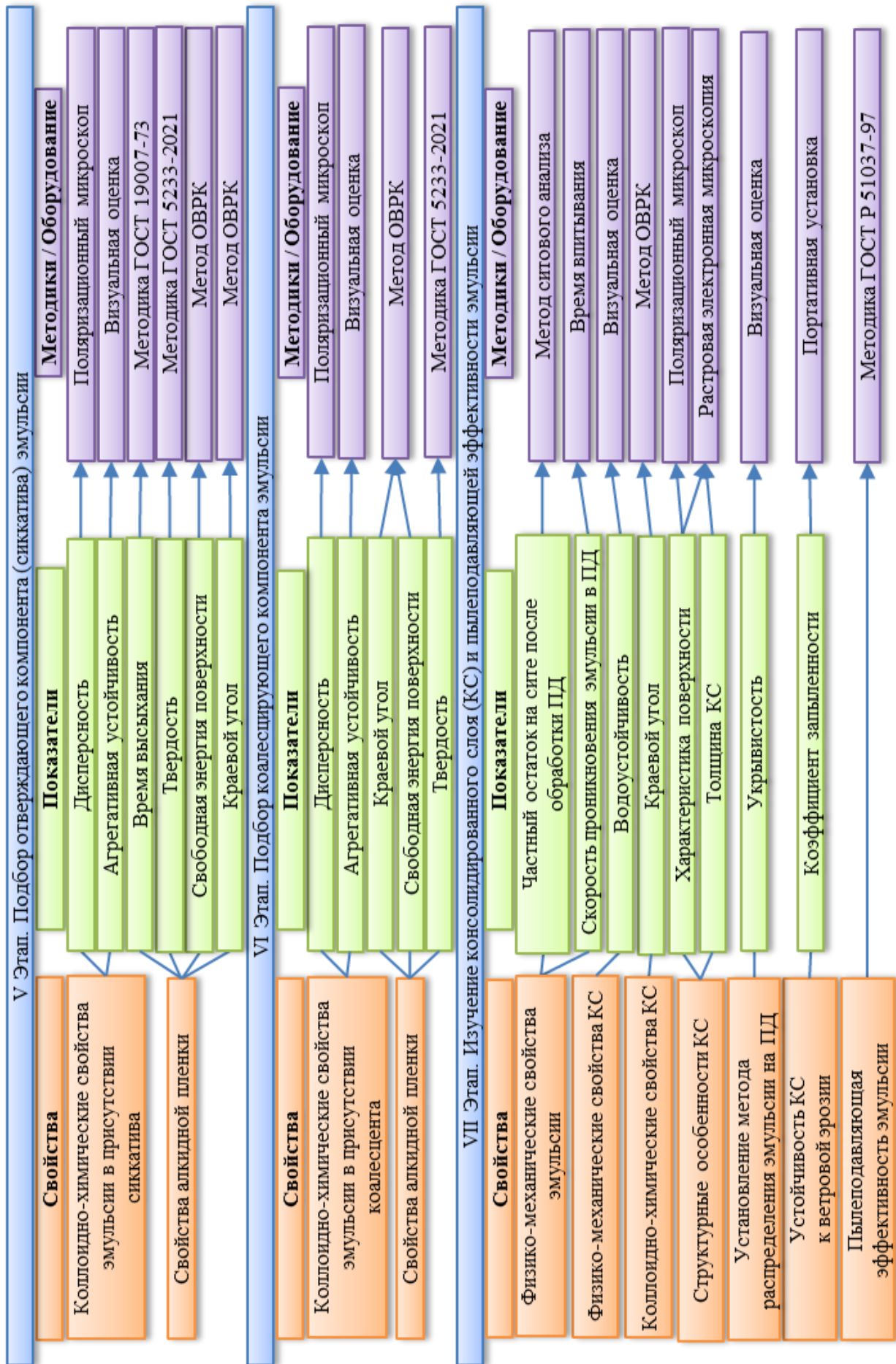


Рисунок 3.3 – Декомпозиция дизайна исследования (V–VII этапы)

Следующий II этап сегментированного эксперимента, проведенного в рамках диссертационной работы, включал *изучение коллоидно-химических, физико-механических свойств и определение способности дисперсной фазы к эмульгированию*, как ключевого пленкообразующего полимерного компонента – дисперсной фазы. Методики исследования и оборудование подбирались исходя из требований государственных стандартов по испытаниям лакокрасочных материалов (ЛКМ) в связи с тем, что традиционно алкид применяется в качестве пленкообразующей основы в составе лаков и красок. Таким образом, изучение физико-механических свойств полимера производилось путем оценки его свойств по шести показателям: твёрдость, адгезия, эластичность при изгибе, время высыхания, определение нелетучих веществ и условная вязкость. Оценка *эмульгирующей способности дисперсной фазы* – алкидной глифталевой смолы, в присутствии дисперсионной среды – воды, позволила определить коллоидно-химические свойства дисперсной фазы. В виду отсутствия нормируемых требований, позволяющих количественно оценить способность к эмульгированию алкидного лака, определение данного параметра осуществлялось путем визуальной оценки коллоидно-химической устойчивости эмульсий с использованием поляризационного микроскопа. Результаты данного этапа отражены в главе 3.3.

Следующий – III этап заключался в *подборе условий эмульгирования алкидной смолы*. Ключевыми выходными параметрами для подбора рационального режима получения выступали: максимально возможная концентрация полимера, обеспечивающая формирование прочной пленки на пылящей поверхности; низкий размер капель алкидной смолы, напрямую оказывающая влияние на жизнеспособность эмульсии; минимально возможная вязкость конечного продукта, обеспечивающая возможность распределения с использованием традиционных механизмов. Для обеспечения необходимых выходных параметров конечного продукта варьируемыми параметрами эмульгирования выступали: последовательности введения компонентов; скорость введения компонентов; температура эмульгирования; времена эмульгирования. Выбор рационального соотношения полимер/вода осуществлялся исходя из изменений условной вязкости, структурных особенностей и агрегативной

устойчивости эмульсий. Определение перечисленных характеристик позволило получить составы эмульсии с низкой вязкостью, высокой стабильностью с длительным сохранением однородной структуры. Результаты данного этапа отражены в главе 3.4.

Этап IV – *подбор стабилизирующего компонента эмульсии* заключался в оптимизации эмульсионного состава путем введения в него поверхностно-активного вещества (ПАВ). Исследование заключалось в изучении коллоидно-химических свойств состава эмульсии в зависимости от содержания в нем стабилизирующего вещества – ПАВ. Контролирующими параметрами являлись: реологические особенности; дисперсность; устойчивость во времени; краевой угол на горизонтальной поверхности методом лежащей капли; поверхностная энергия. Результаты данного этапа отражены в главе 3.5.

Ключевой задачей V этапа являлось *подбор отверждающего компонента (сиккатива) эмульсии*.

На VI этапе осуществлялся *подбор концентрации коалесцирующего компонента эмульсии*. Следует отметить, что на обоих этапах определяются одинаковые параметры (рисунок 3.3) как для определения свойств эмульсионной системы – дисперсность и агрегативной устойчивости, так и для покрытий, образуемых полимером – твердость, краевой угол и свободную энергию поверхности. При этом использовались методики и оборудование, регламентируемые нормативными требованиями, применяемыми к лакокрасочным материалам (ЛКМ). Это позволило установить рациональные концентрации применяемых компонентов для получения дисперсии с высокой устойчивостью во времени, образующей покрытие с улучшенными физико-механическими свойствами. Результаты V и VI этапов отражены в главе 3.6.

VII этап. Завершающими исследованиями в рамках диссертационной работы являлось *изучение консолидированного слоя (КС) и пылеподавляющей эффективности эмульсии*, разрабатываемой алкидной глифталевой эмульсии на водной основе и ее взаимодействие с пылеобразующей дисперсией, а также изучение физико-механических и коллоидно-химических свойств КС, образуемого непосредственно на поверхности данной модельной дисперсии. Выполнение проверки пылеподавляющей

способности эмульсии проводили согласно оценочным параметрам, указанных в главе 1.5 литературного обзора диссертационной работы.

Оценку пылеподавляющей эффективности разработанной эмульсии и целесообразность ее применения проводили путем сравнения с промышленным образцом пылеподавляющего средства «Concentrate Polymer» – акриловой эмульсии на водной основе, производства ООО «СК Дельта», руководствуясь требованиями ГОСТ Р 51037–97 «Покрyтия полимерные защитные изолирующие, локализирующие пылеподавляющие и дезактивирующие. Общие технические требования». Для сравнительной оценки промышленного и разработанного составов определяли физико-химические, физико-механические и структурные свойства КС, получаемые после полимеризации ПС.

Поскольку согласно существующих методик оценка качества ПС проводится в пленочном состоянии при нанесении составов на стекло, а по факту данные составы предназначены для работы с сыпучими дисперсиями, предложен комплекс косвенных и прямых методов оценки пылеподавляющей эффективности алкидных эмульсий, предназначенных для работы с пылеобразующими дисперсиями. Данный комплекс включает определение физико-механических свойств эмульсии – частный остаток на сите после обработки ПД и скорость проникновения эмульсии в ПД, а также физико-механических и коллоидно-химических свойств, структурных особенностей КС – водостойчивость, краевой угол и характеристики поверхности КС.

Также обоснован метод распределения эмульсии при обработке пылеобразующих объектов и расход реагента.

Предложена методика количественной оценки эффективности полимерных пылеподавляющих составов, заключающаяся в определении коэффициента запыленности, характеризующего устойчивость консолидированного слоя к ветровой эрозии. Для определения характеристик, требующихся для расчета коэффициента разработана портативная лабораторная установка, действующая по принципу аэродинамической трубы, позволяющая оценить концентрацию пыли в воздухе.

Таким образом, разработка дизайна сегментированного эксперимента позволила варьировать рецептурно-технологическими параметрами получения эмульсии

алкидной смолы на водной основе на каждом этапе исследования с получением полимерного пылеподавляющего средства и формируемого им покрытия с заданными свойствами. При этом декомпозиция сегментированного эксперимента представлена следующими этапами: анализ неорганической модельной пылеобразующей дисперсии; изучение коллоидно-химических, физико-механических свойств и эмульгирующей способности дисперсной фазы; подбор условий эмульгирования; подбор стабилизирующего компонента эмульсии; подбор отверждающего компонента (сиккатива) эмульсии; подбор коалесцирующего компонента эмульсии; изучение консолидированного слоя и пылеподавляющей эффективности эмульсии.

3.2 Обоснование выбора, состав и свойства неорганической модельной пылеобразующей дисперсии

Анализ научной литературы (представленный в публикации автора работы [16]) выявил некоторые разночтения в понимании ряда определений, используемых для описания процессов пылеподавления, в связи с чем, необходимо остановиться на терминологических вопросах.

Стоит различать понятия пыли и взвешенных частиц. Пыль – это твёрдые частицы органического или минерального происхождения с размером частиц наименьшего диаметра от 1 мкм до максимального 0,1 мм [134]. Взвешенные частицы (взвешенные вещества) – твёрдые или жидкие частицы, представляющие смесь золы, сажи, дыма и др. веществ находящиеся во взвешенном состоянии в воздухе (витающие в воздухе) [135].

Пыль на промышленных объектах (сельскохозяйственные угодья, горнодобывающие участки, карьерные или автомобильные дороги и др.) различна по химическому составу и дисперсности [136–139]. По составу веществ следует различать органическую (растительная, животная, искусственная органическая) и неорганическую (минеральную и металлическую) пыль. По размеру частиц пыль можно классифицировать на 5 групп: I – очень крупнодисперсная (>500 мкм), II – крупнодисперсная (100–500 мкм), III – среднедисперсная (10–100 мкм), IV – мелко-

дисперсная (0,1–10 мкм), V – очень мелкодисперсная (<0,1 мкм). Общей классификации для пыли не существует, однако приемлемо объединить такие ключевые параметры как происхождение вещества и размер частиц пыли, и получить следующую схему (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Классификация пыли [124]

Загрязнение пылью – это различный по продолжительности процесс образования в атмосфере аэрозолей твердых дисперсных частиц различного происхождения и природы, носящий разрушительные последствия. Здесь решающими факторами принято считать погодные и природные явления, вызывающие ветровую эрозию, а также техногенные процессы (образование пылевых облаков при взрывных, пахотных, строительных работах).

Одним из главных процессов в пылеобразовании является ветровая эрозия. Ветровая эрозия – совокупность естественных процессов, которые разрыхляют, удаляют и переносят выветрившиеся или не выветрившиеся твердые вещества (почву, грязь, обломки горных пород и др. частицы) с ландшафта путем смещения ветром. Данный процесс также часто называют ветровой дефляцией. Сущность явления за-

ключается в том, что ветер поднимает и переносит более легкие частицы из сухой почвы (образование пылевого облака), оставляя после себя поверхность из крупно-зернистого песка и камней [140, 141].

В широком смысле пылевое облако – аэрозольная система, образующаяся при мероприятиях горной разработки (взрывах пород), состоящая из смеси пыли и взрывных газов. При особо мощных взрывах пылевое облако может достигать в высоту 150–300 м, занимать пространство в 16 км и передвигаться по направлению ветра. Радиус зоны распространения пылевых облаков зависит от размера частиц и скоростей восходящего и горизонтального воздушных потоков. Так же на распространение влияет одноимённый заряд частиц пыли, способствующий их взаимному отталкиванию [142, 143]. Под пылевым облаком понимается аэрозольная система (пыль различного происхождения и размерности), образующаяся в процессе передвижения транспорта, природных и погодных условий и имеющая небольшой масштаб распространения, а также носящая менее разрушительные последствия – в рамках исследования данной диссертационной работы пылевое облако, а точнее концентрация взвеси частиц в воздухе, образующееся в процессе ветровой эрозии, и есть оценочный критерий в определении пылеподавляющей эффективности разрабатываемой эмульсии [16].

Основной принцип решения задачи предотвращения образования пылевого облака заключается в консолидации частиц пыли (их слипании) под действием пылеподавляющих составов (ПС), что приводит к укрупнению и утяжелению частиц неорганической дисперсии аэрозольного типа (пылеподавляющих дисперсий). Благодаря этому пыление становится невозможным, так как тяжелые частицы мало подвержены эрозии [16].

С целью разработки эффективных составов алкидной эмульсии на водной основе с заданными свойствами был произведен анализ физико-механических и физико-химических свойств неорганической модельной ПД. Для получения модельной дисперсии использовали кварц пылевидный марки Б (производитель – компания ООО «ОПТ6») и каолиновую глину Латненского месторождения (в сухом виде гли-

на имеет пылеватую структуру) в пропорции 3:1. Кварц (SiO_2) – является самым распространенным минералом земной коры, что обеспечивает его присутствие практически во всех видах промышленной пыли. Каолинит ($\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$) (породообразующий минерал каолиновых глин) – глинистый минерал осадочных пород, наиболее распространенный представитель класса слоистых алюмосиликатов.

Выбор компонентного состава минеральной модельной ПД обосновывался, с одной стороны, широким распространением порообразующих минералов (кварца и каолинита) в составе практически подавляющего большинства горных пород и почв земной коры, а, с другой, целенаправленной задачей рассматривать дисперсию с наличием веществ с минимальной пористостью (кварц) и с возможностью впитывать воду (каолинит).

Как указывалось ранее, размерность частиц пыли позволяет разделять ее на 5 различных групп, в этой связи на начальном этапе производилось определение гранулометрического (зернового) состава компонентов модельной неорганической дисперсии и их смеси в соотношении 3:1 (кварц пылевидный : каолиновая глина) по ГОСТ 12536–2014 [135] (рисунок 3.5).

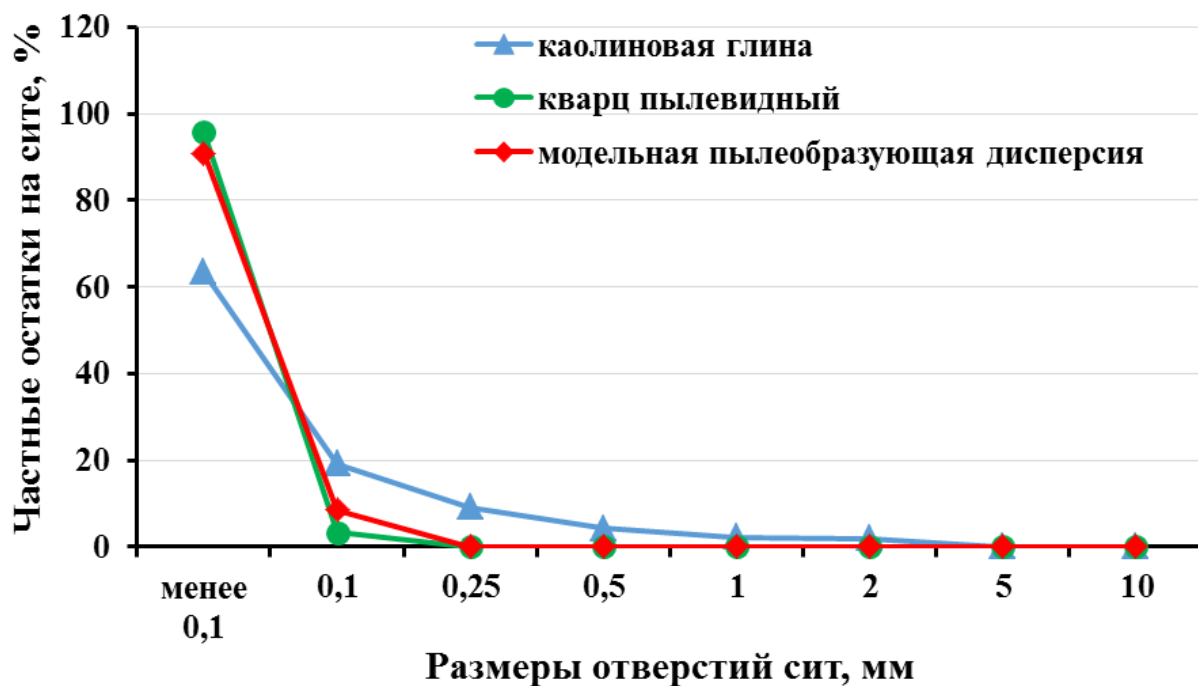


Рисунок 3.5 – Гранулометрический состав модельной пылеобразующей дисперсии

Следует отметить, что рассев исследуемых материалов производился по сухому способу без промывки водой, в виду того, что каолиновая глина при взаимодействии с водой набухает и превращается в пластичную массу, не проходящую через отверстия набора сит.

Как у исходных материалов, так и у полученной с их использованием модельной пылеобразующей дисперсии отмечается высокое содержание частиц, оставшихся на сите с размером отверстий менее 0,1 мм. Это свидетельствует о преобладании частиц до 10 мкм. Однако, в составе кварца пылевидного таких частиц чуть более 95 %, а в составе каолиновой глины около 60 %.

Для каолиновой глины характерно также невысокое содержание частиц в диапазоне 0,1–1 мм, остатки на ситах составили: 0,1 мм – 19,5 %, 0,25 мм – 10,1 %, 0,5 мм – 5,3%, 1 мм – 2,4 %. Необходимо учитывать, что мелкие глинистые частицы подвержены агрегации в более крупные агломераты, в связи с чем результаты, полученные данным способом, могут искажаться и иметь достаточно высокую погрешность. Пылевидный кварц помимо содержания частиц до 10 мкм (сито менее 0,1 мм) характеризуется частным остатком на сите 0,1 мм – 3,4 %. В результате смешения исходных компонентов при соотношении 3:1 происходит смещение кривой частный остаток на сите менее 0,1 мм для модельной пылеобразующей дисперсии стремится к 90 %.

Так, между кривыми каолиновой глины и кварца пылевидного при смешении компонентов и перемещении в сторону больших размеров частиц (0,1–1 мм) отмечается смещение кривой модельной пылеобразующей дисперсии в сторону меньших размеров. При введении в состав кварца пылевидного каолиновой глины отмечается снижение содержания остатка на сите остатки на сите 0,1 мм с 19,5 до 8,5 % по сравнению с каолиновой глиной, что объясняется сильным ее разбавлением частицами кварца. При перемещении в сторону больших размеров отверстий сит (0,2–1 мм) частные остатки стремятся к 0. Установленные изменения гранулометрического состава между исходными компонентами и полученной модельной системой объясняются разбавлением глинистой составляющей пылевидным кварцем не подверженной агрегированию и взаимодействию с влагой.

Анализ гранулометрического состава модельной неорганической дисперсной системы (рисунок 3.6), определенного с помощью лазерной дифракции, показал, что в составе каолиновой глины около 80 % частиц входят диапазон менее от 0,1–10 мкм с характерным пиком в области 2 мкм, остальные – более крупные зерна – 10–30 мкм, составляют около 20 % (рисунок 3.6, а).

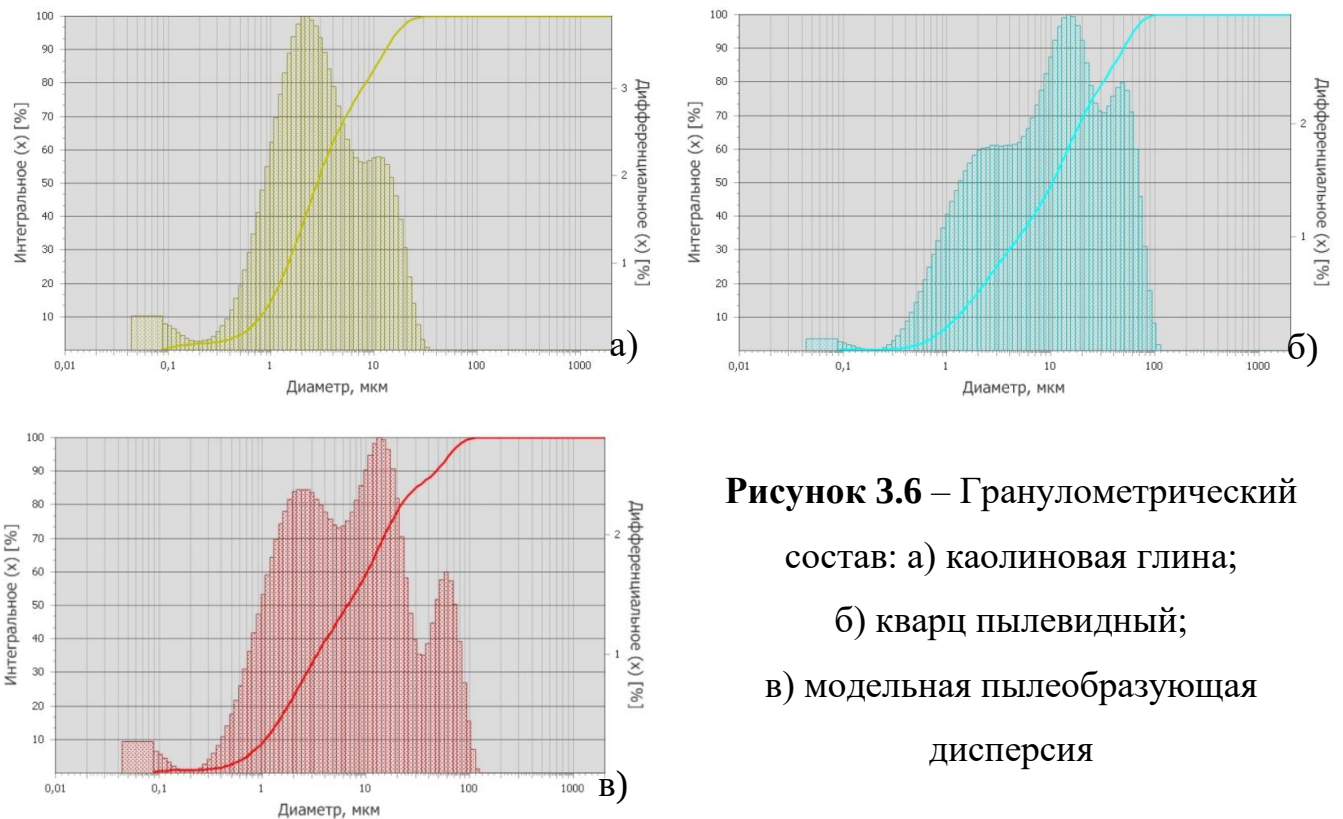


Рисунок 3.6 – Гранулометрический состав: а) каолиновая глина;
б) кварц пылевидный;
в) модельная пылеобразующая дисперсия

Кварц пылевидный характеризуется 50 %-ным содержанием частиц 0,1–10 мкм, в остальные 50 % входят частицы 10–100 мкм характерным пиком в области 50 мкм. Результаты лазерной дифракции показывают, что полученная модельная пылеобразующая дисперсия характеризуется практически 70 %-ным содержанием частиц в диапазоне 0,1–10 мкм, в остальные 30 % входят частицы размером 10–100 мкм. При этом, пылеобразующая дисперсия характеризуется тремя основными пиками в области: 2–3 мкм; 15 мкм; 60–70 мкм. Таким образом, согласно приведенной выше классификации пыли по размеру частиц рассматриваемая модельная дисперсия представляет собой смесь мелко- и среднedisперсной пыли, с преимущественным преобладанием мелкодисперсных частиц.

Анализ результатов определения удельной поверхности исходных компонентов и полученной модельной дисперсии (таблица 3.1) свидетельствует о том, что несмотря на разницу между кварцем пылевидным и каолиновой глиной (в 2 раза) значение удельной поверхности модельной системы стремится в меньшую сторону, в виду преобладания кварцевых частиц, и составляет 5630 см²/г.

Таблица 3.1 – Удельная поверхность модельной неорганической пылеобразующей дисперсии

Показатель		Кварц пылевидный	Каолиновая глина	Смесь (3:1)
Удельная поверхность	ПСХ (см ² /г)	4268	9699	5630
	БДХ (см ² /г)	7920	247450	67800
Пористость по БДХ:				
– средний размер пор, нм		12,107	18,353	13,669
– общий объем пор, см ³ /г		0,0015	0,0652	0,0575
Влажность, %		0	3,15	1,05
Разрывная прочность слоя пыли, Па		30	605	39

Подтверждением этому служат и результаты измерения удельной поверхности по методу Баррета – Джойнера – Халенды (БДХ), заключающегося в полимолекулярной (многослойной) адсорбции газов. Это позволяет учитывать внешние и внутренние микро- и нанопоры частиц, заполняющиеся в результате процесса адсорбции газов.

Влажность характеризует содержание воды в порах, что в дальнейшем влияет на уплотнение минеральной дисперсии. Анализ полученных данных показывает, что материалы имеют весомые различия. Так влажность каолиновой глины в 3 раза больше, чем у песка и составляет 3,15 %.

Значения разрывной прочности слоя пыли показывают, что прочность слоя пыли из каолиновой глины в 20 раз выше разрывной прочности слоя пыли из квар-

цевых частиц. Это объясняется различием в естественной влажности материалов и их способностью формировать структуру.

В результате анализа совокупности физико-механических характеристик модельной неорганической ПД установлено, что согласно классификации пыли по дисперсности, приведенной выше, она относится к IV группе и является мелкодисперсной, а по слипаемости (классификация, приведенная в главе 1) – неслипающейся.

С целью установления необходимости применения и свойств функциональных компонентов в составе органической алкидной эмульсии на водной основе, изучены физико-химические свойства компонентов неорганической минеральной модельной дисперсии – каолиновой глины и кварца. В данном случае рассматривать смесь компонентов нецелесообразно, так как физико-химические особенности каждого вида частиц определяют необходимость использования в составе алкидной дисперсии компонентов, усиливающих взаимодействие между минеральными и полимерными частицами.

Анализ значений ζ -потенциала (таблица 3.2), характеризующего электрокинетический потенциал в плоскости сдвига наночастиц высококонцентрированных сред, показал, что частицы компонентов модельной дисперсии имеют разный заряд. Полученные данные не противоречат данным приведенным в справочной и научной литературе.

Учитывая топологические особенности дисперсных систем, в единице объема модельной минеральной дисперсии количественно будет достаточно высокое содержание более дисперсных частиц каолиновой глины, имеющих положительный заряд. При этом, поведение глинистых частиц в воде является одним из ярких примеров образования двойного электрического слоя (ДЭС) за счет ионизации поверхностных молекул. В водной среде ослабляется связь между алюмосиликатным ядром и катионами в поверхностных молекулах глинистых частиц. Вследствие диссоциации образуется ДЭС, что сопровождается рядом обменных реакций. Таким образом, на поверхности глинистых частиц концентрируются ионы OH^- , которые заряжают частицы отрицательно, тогда как положительно заряженные ионы водо-

рода, притягиваясь к поверхности, образуют ДЭС. Приведенный выше механизм необходимо учитывать при разработке алкидной дисперсии на водной основе с целью повышения эффективности функции пылеподавления.

Таблица 3.2 – Физико-химические свойства неорганической модельной пылеобразующей дисперсии

Показатель		Кварц пылевидный	Каолиновая глина	Смесь (3:1)
ζ -потенциал, мВ		—	+	+
Сорбционная ёмкость по методу Запорожца, мг/г		75,25	94,06	84,66
Донорно-акцепторная способность, Q_{pka} , ммоль/г	Основания по Льюису	63,6	147,24	99,84
	Кислоты по Бренстеду	15,05	131,3	70,18
	Основания по Бренстеду	64,92	147,63	100,27

Также следует учитывать, что каолиновая глина представляет собой кислый (рН 5) реакционноспособный материал, тогда как частицы кварца – нейтральны и, соответственно, инертны. Высокая концентрация глинистых частиц в составе модельной неорганической дисперсии свидетельствует о кислотности системы, что может потребовать применения электролитов. Способность частиц каолиновой глины активно адсорбировать вещества из насыщенных растворов по сравнению с кварцевой пылью характеризуют сорбционная емкость (таблица 3.2, рисунок 3.6) и донорно-акцепторная способность (таблица 3.2).

Так, согласно значениям, характеризующим сорбционную емкость каждого из компонентов неорганической модельной дисперсии, активность частиц каолиновой глины в 1,2 раза выше активности частиц кварцевой пыли (таблица 3.2). При этом,

характер поглощения ионов Ca^{2+} частицами каолиновой глины имеет скачкообразный характер (рисунок 3.7). Это объясняется пакетным строением кристаллической решетки глинистых материалов, что способствует гидрофильности глинистых частиц. При этом, глинистые частицы ведут себя подобно губке, накапливая влагу с растворенными в ней веществами, а в результате достижения экстремума частично возвращают ее. Кривая, характеризующая сорбционную емкость модельной дисперсии, свидетельствует практически об усреднении значений между исходными компонентами.

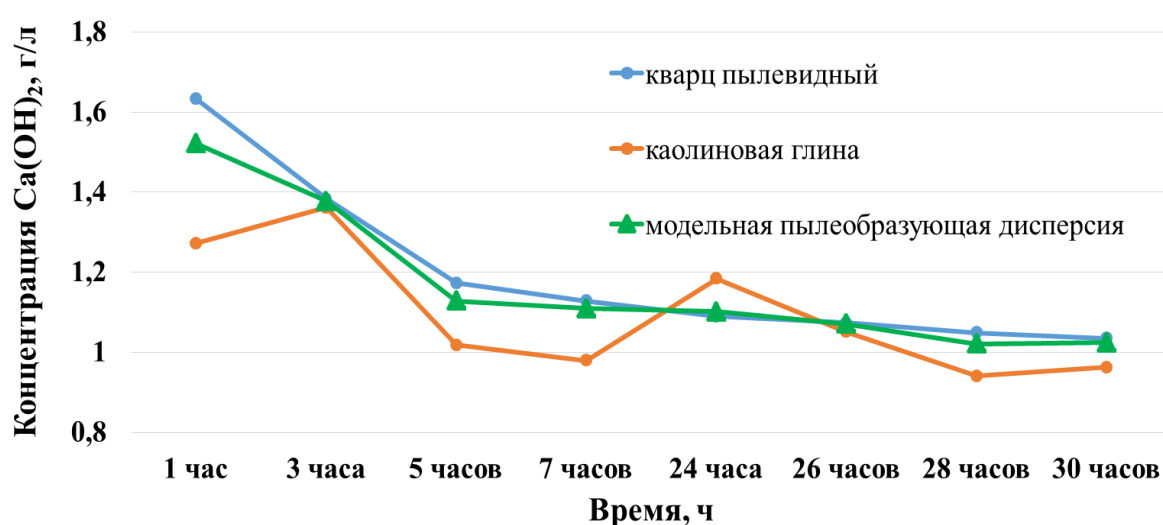


Рисунок 3.7 – Изменение концентрации $\text{Ca}(\text{OH})_2$ во времени

По данным оценки донорно-акцепторной способности, так же отмечается высокая способность к образованию связей в результате передачи неподеленной электронной пары от донора к акцептору. При этом, свойства связей, образованных по донорно-акцепторному механизму, не отличаются от свойств связей, образованных по обменному механизму. Суммарное количество льюисовских и бренстедовских основных и бренстедовских кислотных центров для частиц каолиновой глины в 3 раза выше, чем для частиц кварца пылевидного. Высокие значения, характеризующие донорно-акцепторную способность частиц каолиновой глины, объясняются наличием р-элементов (Al, Si), способных выполнять роль акцептора, и, особенно, d-элементов (Fe), имеющих незаполненные энергетические ячейки в валентном электронном слое. При этом, в результате анализа модельной дисперсии видно, что, как

и в случае с сорбционной емкостью, суммарное содержание бренстедовских и льюсовских центров усредняется между исходными компонентами и составляет 270,3 ммоль/г.

Полученные данные, характеризующие активность минеральных частиц пыли, представляющих модельную неорганическую дисперсию, согласуются с данными об электрокинетическом потенциале и также подтверждают необходимость нейтрализации глинистых частиц для наиболее эффективного их закрепления.

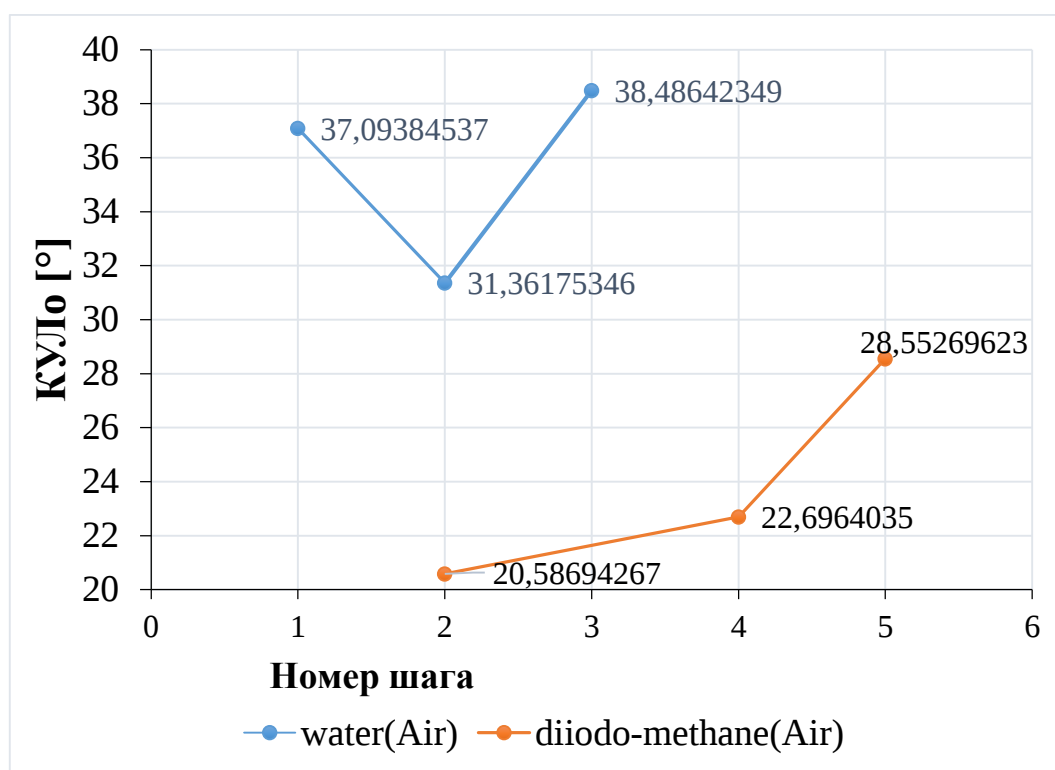


Рисунок 3.8 – Краевой угол модельной неорганической дисперсии при использовании различных жидкостей

Анализ поверхностных свойств неорганической модельной дисперсии по данным краевого угла методом лежащей капли показал следующее (рисунок 3.8). В рамках проводимого эксперимента при использовании диодометана поверхность, образованная частицами неорганической дисперсии, является лиофильной или в случае с водой гидрофильной, то есть хорошо смачивается. Среднее значение краевого угла при использовании диодометана составляет около 24° , а при использовании воды – около 36° .

Величина краевого угла $\theta < 90^\circ$ свидетельствует о преобладании работы адге-

зии, направленной на растекание жидкости по поверхности образуемой модельной дисперсией посредством растяжения, над работой когезии, способствующей стягиванию жидкости в каплеобразную форму. В результате можно сделать вывод о том, что разработка составов пылеподавляющего средства с применением алкидной смолы на водной основе позволит обеспечить высокую проникающую способность средства за счет адгезионных сил воды и эффективной фиксации пыли за счет полимеризации алкидной смолы, выступающего в роли связующего.

Таким образом, изучение комплекса физико-механических, коллоидно-химических и поверхностных свойств неорганической модельной дисперсии, состоящей из широко распространенных в составе земной коры минеральных материалов в виде кварца пылевидного и каолиновой глины, позволили выявить принципиальные особенности пылящих поверхностей. Рассмотренная модель в соответствии с классификацией пыли характеризуются малой и средней дисперсностью, невысокой пористостью, высокой сорбционной емкостью и донорно-акцепторной способностью, а также высокой лиофильностью (гидрофильностью). В свою очередь, полученные данные позволяют оценить потенциальную эффективность разработанной алкидной эмульсии в качестве пылеподавляющего состава и установить необходимость введения вспомогательных компонентов. На основании проанализированных данных можно заключить, что эмульсия алкидной смолы на водной основе позволит обеспечить высокую проникающую способность средства, что является одним из важнейших критериев для оценки эффективности пылеподавляющих средств, однако для нейтрализации глинистых частиц может потребоваться введение вспомогательных компонентов.

3.3 Коллоидно-химические, физико-механические свойства и определение способности дисперсной фазы к эмульгированию

Алкидные смолы, благодаря удачному сочетанию в них сложных полиэфиров и растительных масел, являются популярным типом связующих и пленкообразую-

щих компонентов, активно применяемых в лакокрасочной промышленности. Эмульсии алкидной смолы на водной основе могут обеспечивать создание покрытий с повышенной атмосферостойкостью и высокими механическими показателями при длительном сроке жизни полимерного покрытия, что обуславливает перспективность их использования в качестве пылеподавляющих реагентов для нанесения на пылеобразующие дисперсии различного состава. Благодаря своим характеристикам алкидная эмульсия может применяться для обеспыливания пылящих объектов различного типа – складированных и транспортируемых добытых полезных ископаемых, отвалов и хвостохранилищ горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, грунтовых дорог и обочин, складированных на строительных площадках сырьевых компонентов и т.п. В результате распределения полимерной эмульсии по пылящей поверхности происходит склеивание высокодисперсных частиц между собой с последующим образованием защитной полимерной пленки, что и обеспечивает пылеподавление. Однако, приготовление алкидных эмульсий требует установления возможности эмульгирования полимерного компонента дисперсной фазы, подбора параметров их синтеза, оптимального вида эмульгатора и модификаторов эмульсии.

Определение коллоидно-химических и физико-механических свойств, а также способности дисперсной фазы к эмульгированию основывалось на изучение ключевого пленкообразующего полимерного компонента по государственным стандартам и испытаниям для лакокрасочных материалов. Анализ проводился по шести показателям – твердость, оценка адгезии, эластичность при изгибе, время высыхания, определение нелетучести веществ и условная вязкость. Оценка эмульгирующей способности дисперсной фазы изучалось в присутствии дисперсионной среды – воды. Из-за отсутствия нормируемых требований, позволяющих количественно оценить способность к эмульгированию алкидной смолы, необходимо было определение данного показателя при помощи визуальной оценки коллоидно-химической устойчивости эмульсии с использованием поляризационного микроскопа.

При определении физико-механических свойств алкидной смолы была необходимость получить первоначальные характеристики и сопоставить их с значениями

технического требования на алкидные глифталевые смолы, для оценки соответствия продукта (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Физико-механические свойства алкидной глифталевой смолы

Показатель	Требования по ТУ 20.16.40-001- 22221575-2018	Фактические значения
Твердость, у.е.	$\geq 0,2$	0,37
Адгезия, балл	–	1
Эластичность при изгибе, мм	–	1
Время высыхания до степени 3, ч	≤ 24	22
Условная вязкость, ВЗ-246, 4 мм, с	140–200	152
Массовая доля нелетучих веществ, %	50–54	52,12

Для определения твердости, адгезии, эластичности при изгибе, времени высыхания, условной вязкости и массовой доли нелетучести веществ алкидной смолы были произведены исследования по методикам, соответствующим ГОСТ 5233–2021 «Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по маятниковому прибору» [127], ГОСТ 31149–2014 «Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза» [128], ГОСТ 68063–73 «Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе» [129], ГОСТ 19007–73 «Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степен высыхания» [130], ГОСТ 8420–2022 «Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости» [131], ГОСТ 31939–2012 «Материалы лакокрасочные. Определение массовой доли нелетучих веществ» [132] на лакокрасочные материалы. Согласно техническим требованиям, прописанных в ТУ 20.16040-001-22221575-2018, фактические значения по всем вышеперечисленным показателям находятся в допустимом пределе. Оценка адгезии алкидной пленки, позволяющая оценить смолу на качество взаимодействия (прочность сцепления) с подложкой, показала, что по классифика-

ции качество покрытия соответствует 1 баллу – отслоения мелких чешуек покрытия на пересечении надрезов, площадь отслоений немного превышает 5 %, но не более 15 % площади решетчатого надреза. По результатам определения эластичности пленки при изгибе можно говорить об удовлетворительном результате, диаметр стержня при изгибании образца на котором пленка осталась не поврежденной – 1 мм.

В процессе эмульгирования алкидной эмульсии была изучена ее агрегативная устойчивость при условии, что система имеет два компонента: в качестве дисперсной фазы – глифталевой алкидной смолы в количестве от 10 до 90 масс.% с шагом 10 % от массы дисперсионной среды, в качестве которой выступала вода (все компоненты эмульсии вводились в масс. %, далее по тексту – %). Компоненты в указанном соотношении эмульгировались на скорости перемешивания 5000 об/мин, в течение 10 минут. В процессе получения эмульсия нагревалась (нагревание происходило в результате химического взаимодействия алкидного лака с водой при высокой скорости эмульгирования). Впоследствии для определения водорастворимости и агрегативной устойчивости полученную эмульсию охлаждали до комнатной температуры.

Агрегативная устойчивость приготовленных эмульсий определяли путем их центрифугирования и последующей визуальной оценки дисперсных систем на предмет расслоения. Центрифугирование производилось после полного остывания эмульсий, далее с одинаковым объемом составы разливались в кюветы и центрифугировались в лабораторной центрифуге Liston C2205 в течение 6 минут при 3000 об/мин. Под действием центробежной силы лиофобный коллоидный раствор (раствор, в котором капля дисперсной фазы не взаимодействуют с дисперсионной средой) способен к коагуляции, исходя из чего, мы можем рассмотреть слои с точки зрения состава эмульсии.

Анализ полученных результатов показал отсутствие видимого расслоения у образцов с концентрацией алкида 40–90 масс.% (при эмульгировании с содержанием алкида 50 масс.% наблюдалось набухание алкидной смолы во время приготовления эмульсии, что не позволило проводить дальнейшие исследования в пределах

этой концентрации (рисунок 3.9). Следует обратить внимание на то, что при повышении концентрации алкида процесс расслоения менее выражен, что объясняется лишь количественным преобладанием дисперсной фазы над дисперсионной средой эмульсии. Однако визуальная оценка не позволяет в полной мере установить процессы, происходящие в двухкомпонентной дисперсной системе, что может потребовать изучения структурных особенностей полученных составов. При концентрациях от 10 до 30 масс.% наблюдается расслоение эмульсии на три слоя – вода (верхний слой), алкид (нижний слой) и эмульсия (средний слой). Расслоение эмульсии на три слоя происходит вследствие отделения излишек водной или масляной составляющих двухкомпонентной эмульсии и различия плотностей. Расслоение эмульсии происходит вследствие отделения излишек водной или масляной составляющих двухкомпонентной эмульсии и различия плотностей.

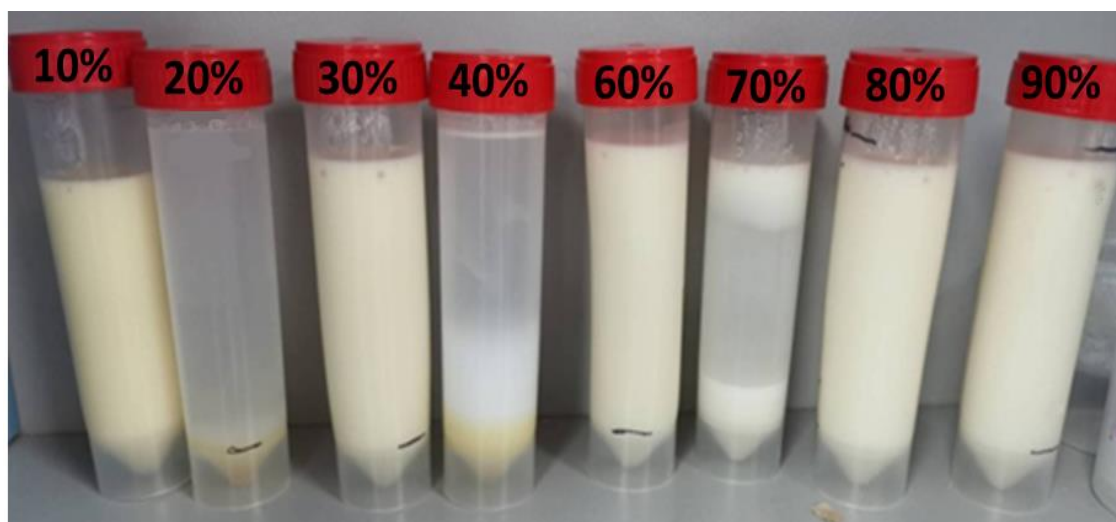


Рисунок 3.9 – Расслоение алкидной эмульсии под действием центробежной силы в зависимости от состава

Поскольку алкид в свой состав включает смесь масел, многоосновных спиртов и многоосновных кислот велика вероятность разделения этих веществ при образовании структуры эмульсии, т.е. при эмульгировании, из-за не равномерного растворения компонентов алкида в воде, есть риск получения полидисперсной эмульсии. С целью установления особенностей механизма расслоения в системе «вода–алкид», а также оценки дисперсности капель алкида производилось исследование структур-

ных особенностей эмульсий с помощью поляризационного микроскопа ПОЛАМ Р-312 в проходящем свете (рисунок 3.10). В результате эксперимента осуществлялось исследование среднего слоя каждого состава.

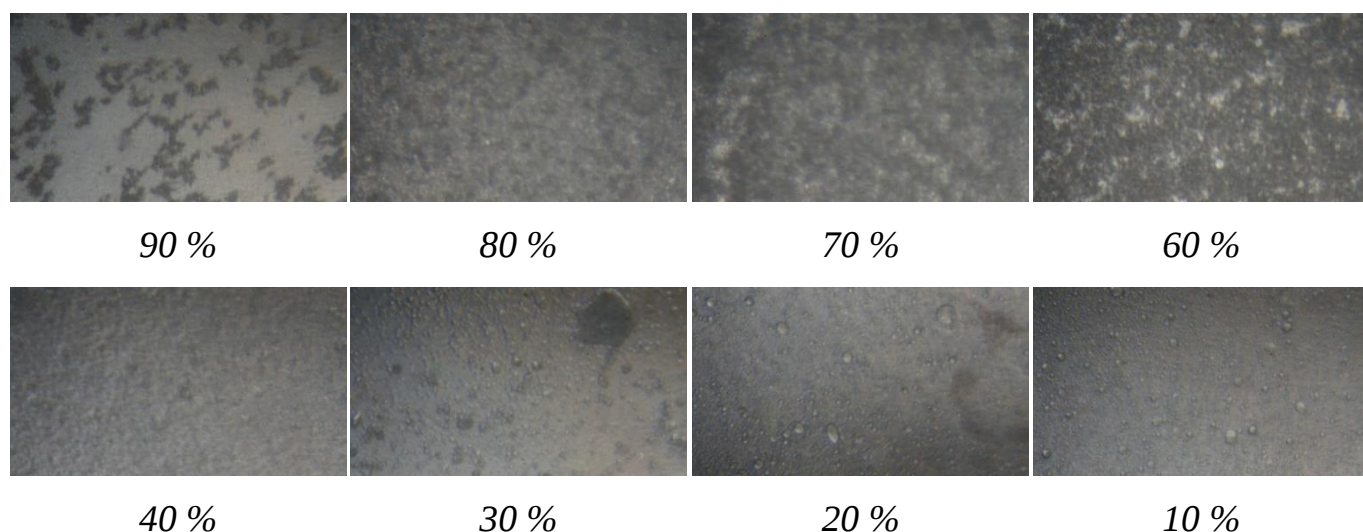


Рисунок 3.10 – Структура эмульсий с различным содержанием алкида (масс.%)

Анализ микроснимков (рисунок 3.10) позволил идентифицировать структуры алкидной эмульсии в зависимости от содержания алкида. При его содержании от 10 до 30 масс.% наблюдается равномерное распределение капель дисперсной фазы (темные и светлые участки – алкид и вода соответственно) по объему и преобладание моноразмерности, что является одним из условий стабильности эмульсии. При более высоких концентрациях алкида наблюдается нехватка дисперсионной среды для формирования капель дисперсной фазы. Это подтверждает результаты визуальной оценки и дает возможность качественно на более высоком уровне оценить эмульгирующую способность дисперсной фазы.

Таким образом, в результате исследования была выявлена способность глифталевой алкидной смолы к эмульгированию. Анализ полученных данных проверки способности дисперсной фазы эмульсии к эмульгированию позволил произвести визуальную оценку и качественно определить максимально возможное содержание алкидной смолы в двухкомпонентной дисперсии «вода–масло (алкид)», которое составляет 30 масс.%. На основании полученных данных целесообразно рассматривать 30 масс.%-ю концентрацию как начальную с целью подбора парамет-

ров эмульгирования и рассмотрения возможности ее увеличения для обеспечения прочности пылеулавливающей пленки в конечном итоге.

3.4 Подбор параметров эмульгирования для получения алкидной эмульсии

Исходя из предполагаемой области использования эмульсии, необходимо получить продукт с высокой распределяющей способностью (наименьшая вязкость при максимальном содержании алкидного лака и высокой дисперсности дисперсной фазы), который будет способен образовывать на пылящей поверхности прочную полимерную пленку. Кроме того, от вязкости напрямую зависят технологичность пылеподавляющей эмульсии (возможность применения распылительных систем и установок промышленного типа) и скорость проникновения алкидного полимера в толщу дорожного пылеобразующего полотна.

Для разработки алкидной эмульсии с требуемыми характеристиками проведена оценка пяти способов получения состава полимерной эмульсии (результаты представлены в публикации автора [144]), отличающихся последовательностью введения компонентов (алкидной смолы, ПАВ и воды), температурой, скоростью и временем перемешивания и эмульгирования. Снижение вязкости эмульсий возможно путем введения в ее состав меньшего количества алкида, а также использования растворителей. При снижении содержания в составе эмульсии алкида, есть риск понижения механических свойств защитной полимерной пленки на пылящей поверхности, что может повлиять на ее долговечность и увеличение частоты повторного нанесения эмульсии на дорожное полотно. Растворителями для алкидных смол могут являться алифатические и ароматические углеводороды и их смеси (уайт-спирит, ксилол, толуол), применение которых экологически безопасно. Кроме того, для эффективного пылеподавления немаловажно получение продукта с максимально возможной дисперсностью. Капли эмульсии при распылении ее на пылеобразующую дисперсию не только агрегируют частицы пыли, но и за счет высокоразвитой поверхности, захватывают частичку пыли из воздуха и осаждают на поверхность.

Таким образом, целью следующего этапа исследования являлась сравнительная оценка способов получения и разработка базового состава (основы) пылеподавляющей алкидной эмульсии с максимально возможным содержанием алкида при минимальной вязкости (без использования растворителя), максимальной дисперсности и наибольшим сроком жизни (устойчивости к расслоению). Контролируемыми показателями в ходе исследования являлись: агрегативная устойчивость, вязкость и размер капель.

На основании проведенного аналитического обзора [16] были выделены следующие технологические параметры, определяющие качество получаемой эмульсии на различных стадиях ее приготовления:

I Стадия. Приготовление 2-х компонентного раствора:

- соотношение компонентов;
- последовательность введения компонентов раствора;
- скорость перемешивания;
- температура перемешивания;
- время перемешивания.

II Стадия. Приготовление 3-х компонентного раствора:

- соотношение компонентов;
- последовательность введения компонентов раствора;
- скорость введения.

III Стадия. Эмульгирование:

- скорость эмульгирования;
- температура эмульгирования;
- время эмульгирования.

В рамках исследования была проведена оценка эффективности пяти способов (рисунок 3.11) получения алкидной эмульсии по параметрам «соотношение компонентов» и «последовательность введения компонентов раствора» для стадий 1 и 2 (получения 2-х и 3-х компонентных растворов). Остальные технологические параметры были определены на основании анализа литературы и не варьировались.

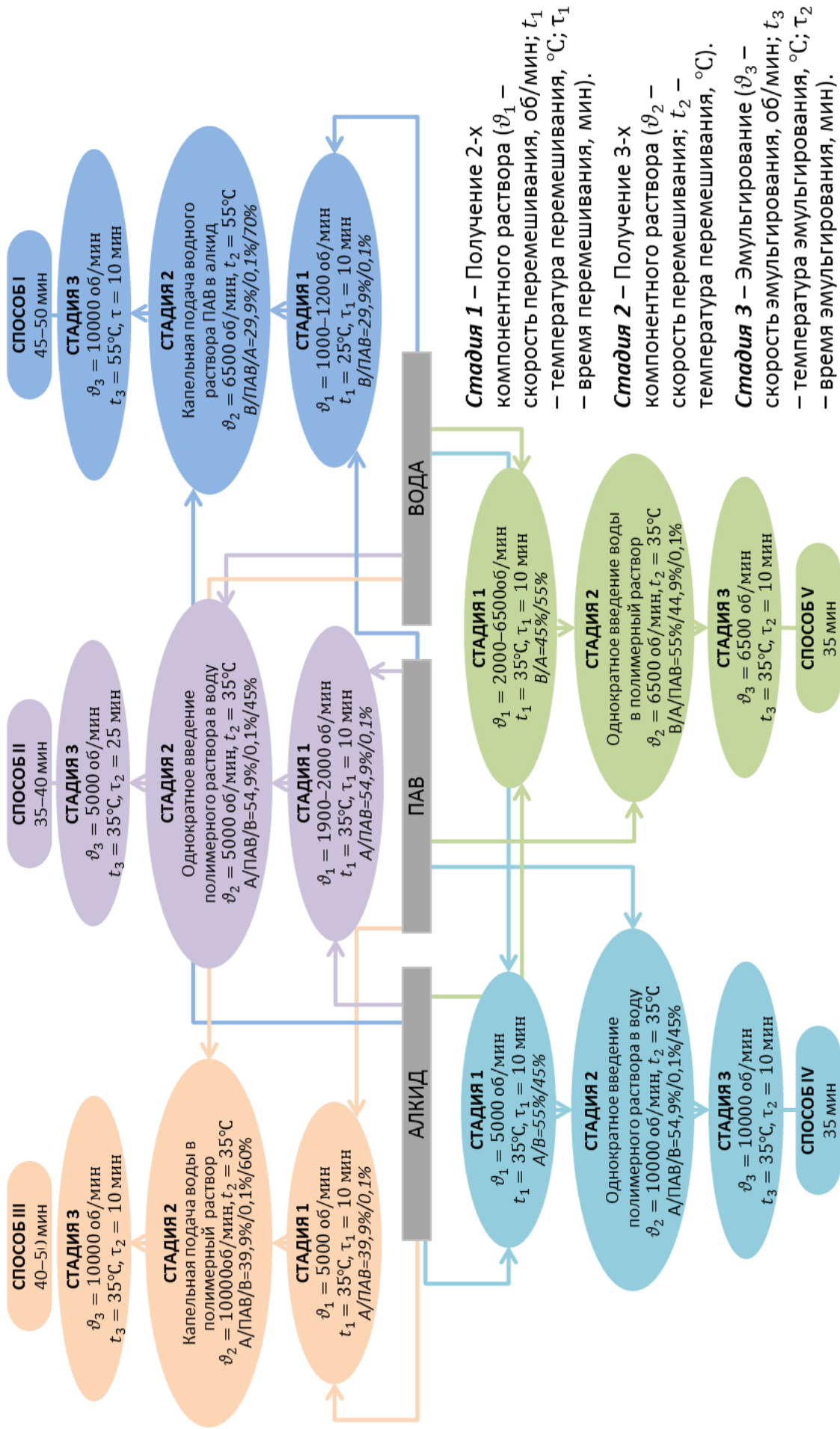


Рисунок 3.11 – Способы и контролируемые параметры получения алкидной эмульсии [144]

На каждой из стадий контролировали определенные параметры: стадия 1 – ϑ_1 – скорость перемешивания, об/мин; t_1 – температура перемешивания, °C; τ_1 – время перемешивания, мин; стадия 2 – ϑ_2 – скорость перемешивания; t_2 – температура перемешивания, °C; стадия 3 – ϑ_3 – скорость эмульгирования, об/мин; t_3 – температура эмульгирования, °C; τ_2 – время эмульгирования, мин.

I способ. Последовательность введения компонентов: (Вода←ПАВ)→Алкид (предварительная подготовка водной дисперсии ПАВ с последующим введением его в алкидную смолу). Получение 2-х компонентного раствора: в емкость с дистиллированной водой постепенно вводили ПАВ при скорости перемешивания 1000–1200 об/мин, время перемешивания 10 минут, температура – комнатная (20–25°C). Получение 3-х компонентного раствора: полученный водный раствор со скоростью вливания 350 мл/ч подавали в смолу при температуре 55°C и скорости перемешивания 10000 об/мин. Эмульгирование: После введения всего объема раствора проводили эмульгирование без изменения скорости и температуры в течении 10 мин. Суммарное время получения эмульсии составило 40–50 минут.

II способ. Последовательность введения компонентов: (Алкид←ПАВ)→Вода (предварительная подготовка раствора алкидного лака с ПАВ и последующее его введение в воду). *Получение 2-х компонентного раствора:* в емкость с алкидным лаком постепенно вводили ПАВ при скорости перемешивания 1900–2000 об/мин, время перемешивания 10 минут, температура – 35 °C. *Получение 3-х компонентного раствора:* полимерный раствор вливали в воду при температуре 35°C, с постепенным набором скорости перемешивания до 5000 об/мин. *Эмульгирование:* после введения всего объема раствора эмульгирование производили в течении 25 минут, без изменения скорости эмульгирования и температуры. Суммарное время получения эмульсии – 35–40 минут.

III способ. Последовательность введения компонентов: (Алкид←ПАВ)←Вода (предварительная подготовка раствора ПАВ и алкидной смолы с последующим введением в него воды). *Получение 2-х компонентного раствора:* в емкость с алкидным лаком постепенно вводили ПАВ при скорости перемешивания 5000 об/мин,

время перемешивания – 10 минут, температура – 35°C. **Получение 3-х компонентного раствора:** в полученный полимерный раствор подавали воду со скоростью 350 мл/ч, при температуре 35°C и постепенным увеличением скорости перемешивания до 10000 об/мин. **Эмульгирование:** после введения всего объема воды эмульгирование производили в течении 10 мин без изменения скорости и температуры. Суммарное время получения эмульсии – 45–50 минут.

IV способ. Последовательность введения компонентов: (Алкид←Вода)←ПАВ (предварительная подготовка водной дисперсии, с введением воды в алкид, с последующим введением в него ПАВ). **Получение 2-х компонентного раствора:** в емкость с алкидным лаком постепенно вводили воду при скорости перемешивания 6000–7000 об/мин, время перемешивания – 10 мин, температура – 35°C. **Получение 3-х компонентного раствора:** в полученный водный раствор алкида добавляли ПАВ при температуре 35°C и постепенным набором скорости эмульгирования до 10000 об/мин на протяжении 10 минут. **Эмульгирование** длилось еще 15 минут, без изменения скорости и температуры. Суммарное время получения эмульсии – 35 минут.

Влияние содержания алкида на свойства эмульсии анализировали в диапазоне 15–65 масс.% с учетом получаемых данных по влиянию способа эмульгирования.

Оценка влияния количества алкидного лака (дисперсной фазы) на свойства эмульсии, полученной I способом, показала, что при содержании алкида 15 масс.% происходит расслоение эмульсии с отделением дисперсионной среды (воды), что свидетельствует об ее избыточном содержании в полимерной дисперсии ПАВ. При этом размер капель варьируется в диапазоне 15–60 мкм (рисунок 3.12, а). Увеличение содержания алкида в составе эмульсии до 30 масс.% (рисунок 3.12, б–г) приводит к повышению дисперсности эмульсии (8–43 мкм соответственно).

Повышение содержания алкида свыше 30 масс.% приводит к расслоению системы, так же, как и при низких его дозировках, поэтому для I способа были оценены значения по вязкости и сроку жизни для диапазона алкида от 15 до 30 с шагом 5 %.

Вязкость полимерных составов при увеличении содержания лака с 15 до 30

масс.% растет с 60 с до 75 с (таблица 3.4). Срок жизни эмульсии при I способе приготовления в зависимости от содержания алкидного лака составил: при 15 и 20 масс.% – 1 день, 25 масс.% – 2 дня, 30 масс.% – до 7 дней. Увеличение срока жизни эмульсии можно связать как с уменьшением размера капель высококонцентрированных эмульсий, так и с их высокой вязкостью, что является фактором высокой агрегативной устойчивости.

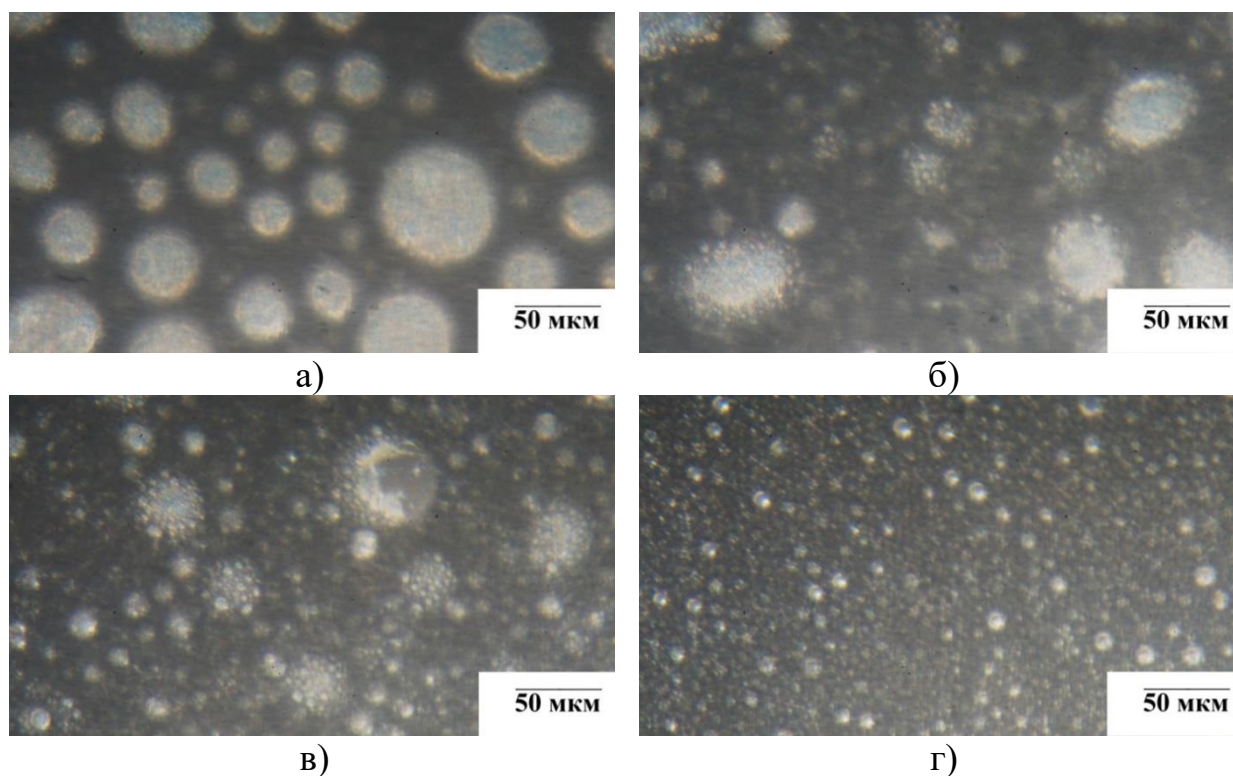


Рисунок 3.12 – Изменение структуры эмульсии, приготовленной

I способом, в зависимости от содержания алкидного лака (масс.%):

а – 14,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 85 % вода; б – 19,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 80 % вода;

в – 24,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 75 % вода; г – 29,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 70 % вода

Таким образом, получение максимально стабильной и высокодисперсной эмульсии I способом возможно при соотношении компонентов – 29,9 масс.% ГФ-0123, 0,1 масс.% ПАВ, 70 масс.% вода. Однако высокое значение вязкости и малое количество алкида в составе эмульсии не обеспечит требуемые технологические свойства данного состава как эффективного пылеподавителя. В этой связи были изменены условия эмульгирования.

Таблица 3.4 – Характеристики и параметры получения алкидной эмульсии

Рецептурно-технологические параметры получения эмульсий		Способ получения эмульсии				
		I	II	III	IV	V
Параметры получения	Общее время, мин	45–50	35–40	40–50	35	35
	Температура, °C	55	35	35	35	35
	Скорость эмульгирования, об/мин	10000	5000	10000	10000	6500
Содержание компонентов, масс.%	АЛКИДНАЯ СМОЛА	29,9	54,9	39,9	54,9	44,9
	ВОДА	70	45	60	45	55
	ПАВ	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Контролируемые свойства	Условная вязкость, с	75	24	65	20	70
	Срок жизни	7 дней	8 дней	2 дня	3 часа	3 часа
	Размер капель, мкм	8	17	—	—	—

Оценка влияния температуры при получении 2-х и 3-х компонентного раствора при II способе эмульгирования показала, что при увеличении содержания алкида до 50 масс.% (54,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 45 % Вода) с сохранением температуры эмульгирования 55°C происходит неравномерное распределение алкида в эмульсии, с отделением дисперсной фазы в виде осадка (рисунок 3.13, а). Снижение температуры до 35°C обеспечивает равномерность распределения алкида по объему с близкими к монодисперсности (15–20 мкм) каплями полимера (рисунок 3.13, б). Это можно объяснить отделением связанной в каплях алкида солюбилизированной воды, которая должна являться фактором сильного трения, обеспечивая высокую вязкость. Снижение температуры эмульгирования приводит к уменьшению объемной доли дисперсной фазы при уменьшении как размера капель, так и объема межфазных слоев. В результате данного ослабления взаимодействия молекул ПАВ с молекулами среды и усиления связей между собой при одновременном снижении вязкости достигается уменьшение взаимодействия капель эмульсии между собой. Это приводит к повышению агрегативной устойчивости и более равномерному распре-

делению капель. Таким образом, температурный режим, выбранный для эмульгирования эмульсии алкидной смолы, – 35 °С, эта температура является рабочей, до которой эмульсия нагревалась самостоятельно (нагревание происходило в результате химического взаимодействия алкидного лака с водой при высокой скорости эмульгирования). В таком случае нет необходимости в применении термостатов для нагревания или охлаждения коллоидной дисперсии.

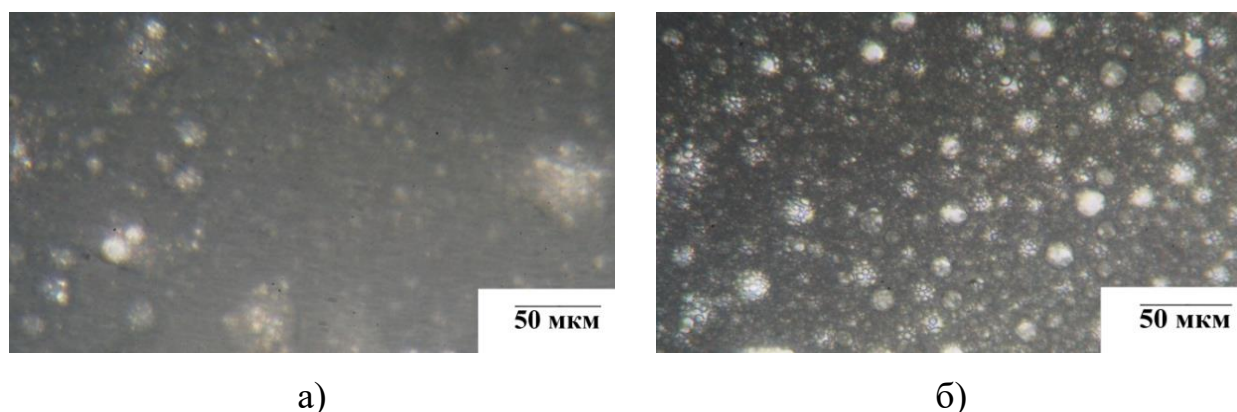


Рисунок 3.13 – Влияние изменения температуры эмульгирования на структуру эмульсии, полученной II способом: а – 55°С; б – 35°С

Следующим этапом стало увеличение содержания алкида в эмульсии, полученной II способом, с 50 до 65 % с шагом 5 %.

При увеличении содержания лака в системе вязкость растет и составляет 20, 24, 29 и 33 с соответственно. Срок жизни эмульсии при введении раствора алкидного лака с ПАВ в воду в зависимости от содержания алкидного лака составил: при 50 масс.% – 4 дня, 55 масс.% – 8 дней, 60 масс.% – 3 дня, 65 масс.% – 2 дня. Наибольшей однородностью и монодисперсностью при минимальных размерах капель (17 мкм) характеризуется состав с 55 масс.% алкида (рисунок 3.14 б).

Следовательно, рациональным составом при эмульгировании II способом необходимо считать: 54,9 масс.% ГФ-0123, 0,1 масс.% ПАВ, 45 масс.% вода. При таком составе эмульсия имеет стабильную структуру, а ее вязкость приемлема для распыления на пылеобразующую дисперсию.

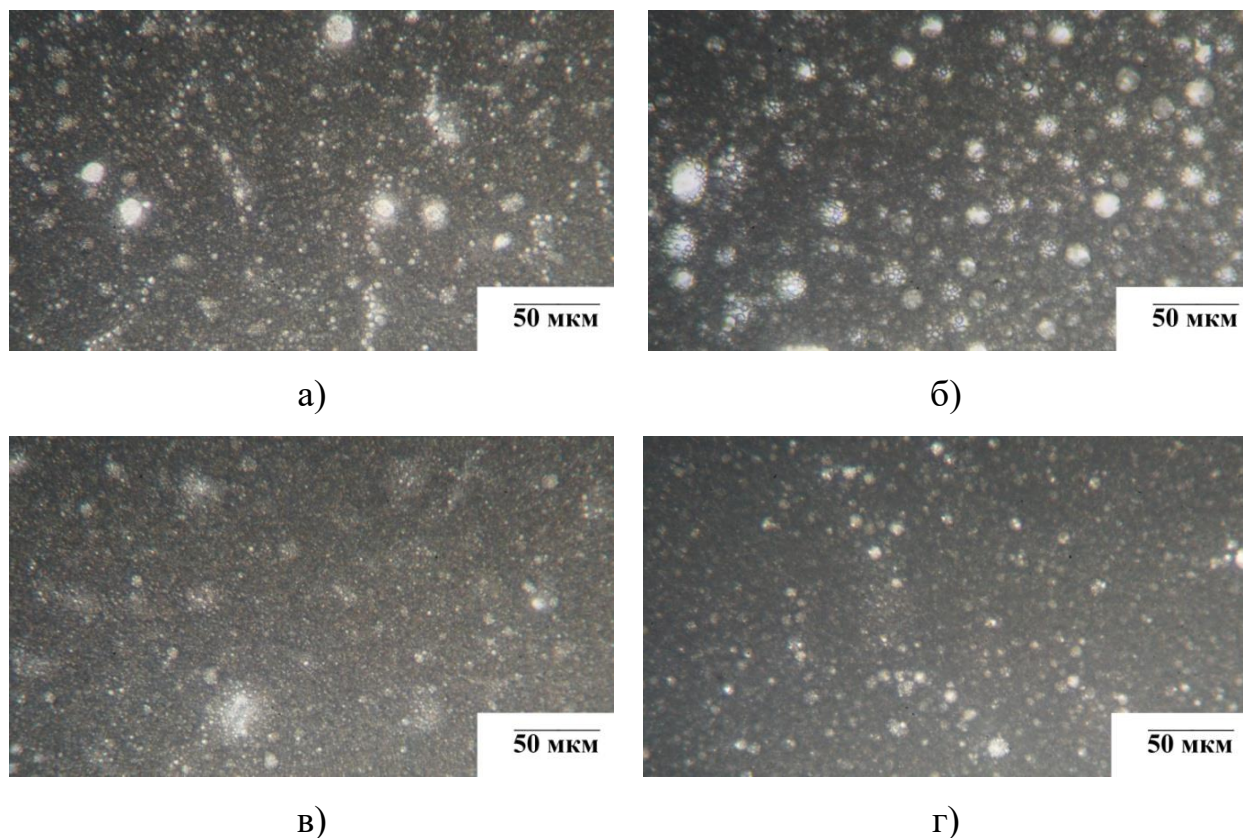


Рисунок 3.14 – Изменение структуры эмульсии, приготовленной II способом, в зависимости от содержания алкидного лака (масс.%): а – 49,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 50 % вода; б – 54,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 45 % вода; в – 59,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 40 % вода; г – 64,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 35 % вода

Таким образом, изменение условий эмульгирования (последовательности введения компонентов, температуры и скорости эмульгирования) и состава эмульсии II способом привело к снижению вязкости и увеличению срока жизни эмульсии с сохранением ее дисперсности.

Проверка влияния изменения последовательности введения компонентов (способы III–V) при сохранении параметров эмульгирования (скорости и температуры эмульгирования) показала следующее.

III способ эмульгирования аналогичен первому с разницей в том, что воду вводили в предварительно приготовленный раствор алкида с ПАВ. В результате была получена эмульсия с вязкостью – 65 с, без возможности длительного хранения (срок жизни 2 дня), расслоения после приготовления эмульсии не наблюдалось. IV и

V способы получения отличаются последовательностью введения алкида и воды при получении 2-х компонентного раствора при введении ПАВ последним компонентом. При таких способах получения эмульсии распределение ПАВ весьма затруднительно, дисперсная фаза слабо выражена (рисунок 3.15), в результате формируется нестабильная система со сроком жизни 3 часа, вязкостью 20 и 70 с при способе IV и V соответственно. Анализ структуры эмульсий, приготовленных III, IV и V способами, показал отсутствие четко выраженных капель дисперсной фазы, что не позволяет оценить уровень ее дисперсность. Срок жизни эмульсии сокращается за счет высокой коалесценции глобул и уплотнения адсорбционно-сольватного слоя, что приводит к нарушению адсорбционно-сольватного равновесия.

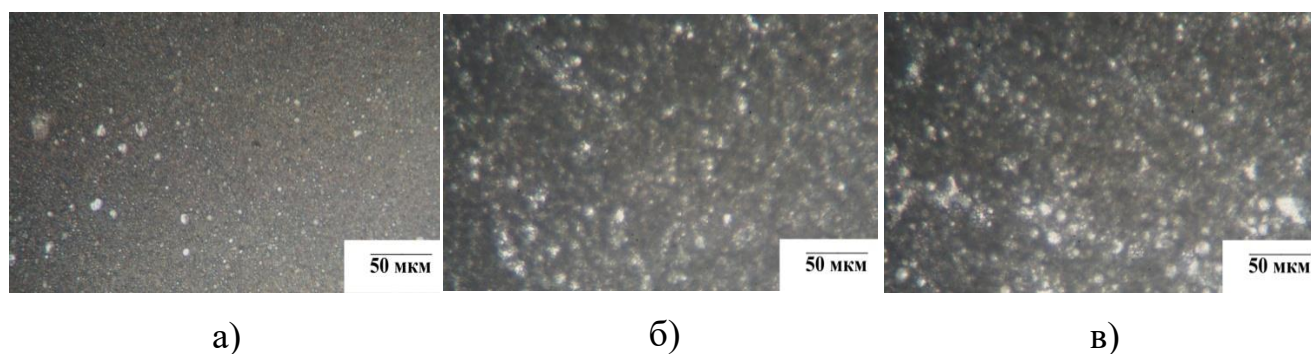


Рисунок 3.15 – Структура эмульсии, приготовленной III, IV и V способами, в зависимости от содержания алкидного лака (масс.%):

а – III способ 39,9 % ГФ-0123; 0,1% ПАВ; 60 % вода; б – IV способ 54,9% ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 45 % вода; в – V способ 44,9 % ГФ-0123; 0,1 % ПАВ; 55 % вода

При сравнении последовательности введения компонентов «вода в алкид» (1 и 3 способы) и «алкид в воду» (2 способ) отмечено уменьшение условной вязкости с 75 до 24 с соответственно (см. таблица 3.4). Сравнение стадийности введения ПАВ – при получении 2-х компонентных растворов (I, II, III способы) и добавление его в последнюю очередь (IV и V способы) показало, что в первом случае наблюдается улучшение диспергируемости и стабильности эмульсии.

Проведенный анализ совокупности коллоидно-химических характеристик эмульсий, приготовленных пятью разными способами введения компонентов, позволил проранжировать эти способы по повышению эффективности их использования

для приготовления алкидных эмульсий (таблица 3.5) по следующим критериям: снижение условной вязкости, повышение агрегативной устойчивости (срока жизни эмульсии), структурированию эмульсии (уменьшению размера капель).

Таблица 3.5 – Ранжирование способов получения эмульсии
в зависимости от значений контролируемых параметров

Характер изменения свойства	Последовательность изменения свойств эмульсий, полученных различным способом				
					
Снижение условной вязкости	I способ	V способ	III способ	II способ	IV способ
Увеличение срока жизни	IV способ	V способ	III способ	I способ	II способ
Уменьшение размера капель	—	—	—	I способ	II способ

Таким образом, проведен анализ результатов экспериментальных исследований по оценке пяти способов получения пылеподавляющей алкидной эмульсии на водной основе, отличающихся последовательностью введения компонентов, температурой, скоростью и временем перемешивания и эмульгирования. Установлено, что менее энергозатратным, при наилучших показателях является II способ, заключающийся в следующей последовательности и параметрах эмульгирования: предварительное введение эмульгатора AMP-95 в алкидную смолу (скорость (ν), температура (t), время (τ) перемешивания: $\nu=1900-2000$ об/мин; $t=20-25$ °C; $\tau=10$ мин); подача полученного раствора в воду (эмульгирование: $\nu=5000$ об/мин; $t=35$ °C; $\tau=10$ мин); введение коалесцента этиленгликоля (эмульгирование: $\nu=10000$ об/мин; $t=35$ °C; $\tau=30$ мин); раздельное последовательное введение сиккативов кобальта и циркония (эмульгирование: $\nu=10000$ об/мин; $t=35$ °C; $\tau=10$ минут). Алкидная эмульсия, полученная таким способом, содержит 55 масс.% полимерного компонента (алкида) и имеет следу-

ющие показатели: условная вязкость – 24 с, срок жизни – 8 дней, средний размер капля – 17 мкм.

3.5 Подбор стабилизирующего компонента эмульсии

Улучшить эмульгирующую способность дисперсной фазы эмульсии возможно эмульгатором, в качестве которого традиционно используются различные виды поверхностно-активных веществ (ПАВ). Использование ПАВ в качестве эмульгатора позволяет обеспечить капле дисперсной фазы оболочку, образованную вследствие адсорбции и определенного направления дифильных молекул поверхностного активного вещества с защитной функцией. Для установления стабилизирующего компонента (эмульгатора) эмульсии с рациональными коллоидно-химическими свойствами был осуществлен сравнительный анализ методов оценки качественных характеристик ПАВ – поливиниловый спирт (ПВС), АМР-95 (2-амино-2-метил-1-пропанол), IVP-314 (аминоэфир жирной кислоты). В исследованиях по созданию полимерной эмульсии на основе гидрофобизирующей кремнийорганической жидкости, где в качестве стабилизирующего компонента (неионогенного эмульгатора) был использован именно ПВС [145–147]. В связи с чем, было целесообразно установить возможность получения алкидной эмульсии в присутствии ПВС. Два других вида, применяемых в работе эмульгатора, были взяты исходя из получения алкидных эмульсий в лакокрасочной промышленности.

Для формирования капли дисперсной фазы необходимо подобрать концентрацию ПАВ достаточную для формирования структуры эмульсии. Исходя, из стандартных методов оценки качественных характеристик поверхностно-активных веществ целесообразно рассмотреть влияние концентрации ПАВ к диапазону концентраций дисперсной фазы – алкидной смолы. Для оценки были выбраны ряд основных показателей: вязкость, срок жизни, краевой угол, поверхностная энергия и анализ структуры, в зависимости от соотношения «полимер–ПАВ».

Для получения рационального состава эмульсии алкидной смолы были рас-

смотрены 3 вида ПАВ с оценками физико-химических характеристик эмульсии в 3-х компонентной системе (Алкид/ПАВ/Вода). Результатами исследования выступает возможность получения эмульсии при максимальном содержании алкида и минимальном ПАВ. Однако, в связи с функциональным назначением состава (пылеподавление), для захвата каплями эмульсии частиц пыли из воздуха необходимо создать ПС с некоторым перерасходом ПАВ (способствующего смачиванию частиц пылеобразующей дисперсии) при сохранении должного уровня адсорбционно-сольватного равновесия на поверхности капель эмульсии является обоснованным.

В работе, выполненной ранее и описанной в пункте 3.4. диссертационной работы, был проведен сравнительный анализ способов получения базового состава пылеподавляющей алкидной эмульсии на водной основе, отличающихся последовательностью введения компонентов, температурой, скоростью и временем перемешивания и эмульгирования, при котором был установлен рациональный способ: «(Алкид←ПАВ)→Вода» (II Способ), при следующих параметрах эмульгирования: скорость эмульгирования 5000 об/мин, температура эмульгирования 35 °С, общее время получения эмульсии 35–40 минут.

В рамках данного исследования целью являлось установление рационального соотношения компонентов в данной системе по следующим критериям: уменьшение среднего размера капель, снижение условной вязкости, повышение агрегативной устойчивости (срока жизни эмульсии), снижение поверхностного натяжения и увеличения краевого угла. Приготовление эмульсий осуществлялось II способом. Для анализа полученных составов алкидной эмульсии были приготовлены три вида дисперсии, отличающиеся между собой видом ПАВ, результаты данного исследования приведены в публикации автора [148].

Измерение вязкости осуществлялось при помощи ротационного вискозиметра Rheotest RN4.1, при сдвиговой скорости 600 с⁻¹. Измерение проводится одним этапом, состоящее из 3 опытов: 1 опыт – измерение вязкости при возрастании скорости (0–600 с⁻¹) и длительностью испытания 60 с⁻¹, 2 опыт – при постоянной скорости 600 с⁻¹ и длительностью 120 с⁻¹, 3 опыт – при понижении сдвиговой скорости (600–0) и

длительностью испытания 30 с^{-1} . Для построения графика были выбраны значения вязкости при наборе и спаде значения градиента среза. Вязкость рассчитывалась по уравнению Шведова-Бингама (формула 1), описывающему псевдопластический характер вязкости и зависимость между сдвиговой скоростью и напряжением сдвига.

$$\tau = \tau_0 + \eta \cdot D \quad (3.1)$$

где τ – напряжение сдвига, Па; τ_0 – предельное напряжение сдвига, Па;

η – пластическая вязкость, Па·с; D – градиент скорости сдвига.

Влияние концентрации алкидной эмульсии и стабилизирующая функция АМР-95 при различной степени разбавления водой были изучены при рассмотрении 25 составов, варьируемых по содержанию ПАВ без изменения количества воды в каждом отдельном случае: алкида – 55–75 в зависимости от содержания алкидного лака (масс.%) с шагом 5 масс.%; АМР-95 – 0,1–0,5 масс.% с шагом 0,1 масс.% от содержания алкида (взамен) (таблица 3.6).

Оценка реологических характеристик (рисунок 3.16, а) показала, что динамическая вязкость по модели Шведова-Бингама, как и срок жизни, тем выше, чем меньше размер капель эмульсии. При добавлении АМР-95 до 0,5 масс.% вязкость вырастает, что можно объяснить уменьшением размеров капель (рисунок 3.16, б) и увеличения их количества. При более высокой концентрации ПАВ происходит дополнительная пластификация капель, что компенсирует возрастание межчастичного взаимодействия при увеличении концентрации алкида, в результате чего вязкость всей эмульсии не возрастает.

При рассмотрении срока жизни эмульсии важно отметить взаимосвязь агрегативной устойчивости и дисперсности. Так, чем больше размер капель, тем быстрее происходит расслоение эмульсии. Высокую агрегативную устойчивость проявляют составы с введением 0,37, 0,50, 0,31, 0,43, 0,40 масс.% ПАВ от алкида. При повышении концентрации дисперсной фазы увеличение концентрации эмульгатора в составе эмульсии повышает ее агрегативную устойчивость, а также в процессе высокоскоростного эмульгирования обеспечивает лучшее скольжение капель компонентов между собой с последующим получением уменьшенного размера капель эмульсии и

увеличенного их количества. Для АМР-95 рациональным является состав с 0,50 масс.% ПАВ от алкида, который при небольшой вязкости характеризуется продолжительным сроком жизни (более 2 месяцев) и меньшим размером капель (до 3 мкм) наряду с оптимальным содержанием алкида (60 масс.%).

Таблица 3.6 – Составы и свойства алкидных эмульсий при использовании в качестве эмульгатора АМР-95

№ п/п	Состав эмульсии (алкид/вода/ПАВ), масс.%	масс.% ПАВ от алкида	Показатели		
			Размер капель, мкм	Динамическая вяз- кость, Па×с	Срок жизни, дней
1.	54,9 / 45 / 0,1	0,18	8	8,14	8 дней
2.	54,8 / 45 / 0,2*	0,37	3	29,48	48 дней
3.	54,7 / 45 / 0,3	0,55	3	26,756	25 дней
4.	54,6 / 45 / 0,4	0,73	7	9,288	26 дней
5.	54,5 / 45 / 0,5	0,92	5	2,083	23 дня
6.	59,9 / 40 / 0,1	0,17	12	2,551	6 дней
7.	59,8 / 40 / 0,2	0,33	9	40,639	41 день
8.	59,7 / 40 / 0,3*	0,50	3	40,872	87 дней
9.	59,6 / 40 / 0,4	0,67	3	26,362	32 дня
10.	59,5 / 40 / 0,5	0,84	3	20,22	22 дня
11.	64,9 / 35 / 0,1	0,15	16	13,142	4 дня
12.	64,8 / 35 / 0,2*	0,31	10	54,214	29 дней
13.	64,7 / 35 / 0,3	0,46	5	57,404	12 дней
14.	64,6 / 35 / 0,4	0,62	2	45,851	17 дней
15.	64,5 / 35 / 0,5	0,78	5	42,667	6 дней
16.	69,9 / 30 / 0,1	0,14	11	2,62	9 дней
17.	69,8 / 30 / 0,2	0,29	12	70,203	23 дня
18.	69,7 / 30 / 0,3*	0,43	3	76,351	25 дней

№ п/п	Состав эмульсии (алкид/вода/ПАВ), масс. %	масс. % ПАВ от алкида	Показатели		
			Размер капель, мкм	Динамическая вяз- кость, Па·с	Срок жизни, дней
19.	69,6 / 30 / 0,4	0,55	2	67,756	8 дней
20.	69,5 / 30 / 0,5	0,72	7	67,53	9 дней
21.	74,9 / 25 / 0,1	0,13	9	41,647	1 день
22.	74,8 / 25 / 0,2	0,27	17	88,608	3 дня
23.	74,7 / 25 / 0,3*	0,40	8	97,714	6 дней
24.	74,6 / 25 / 0,4	0,54	3	92,077	1 день
25.	74,5 / 25 / 0,5	0,67	3	94,808	1 день

* Курсивом выделены рациональные составы эмульсии при базовых количествах алкида – 55–75 масс. % с шагом 5 %

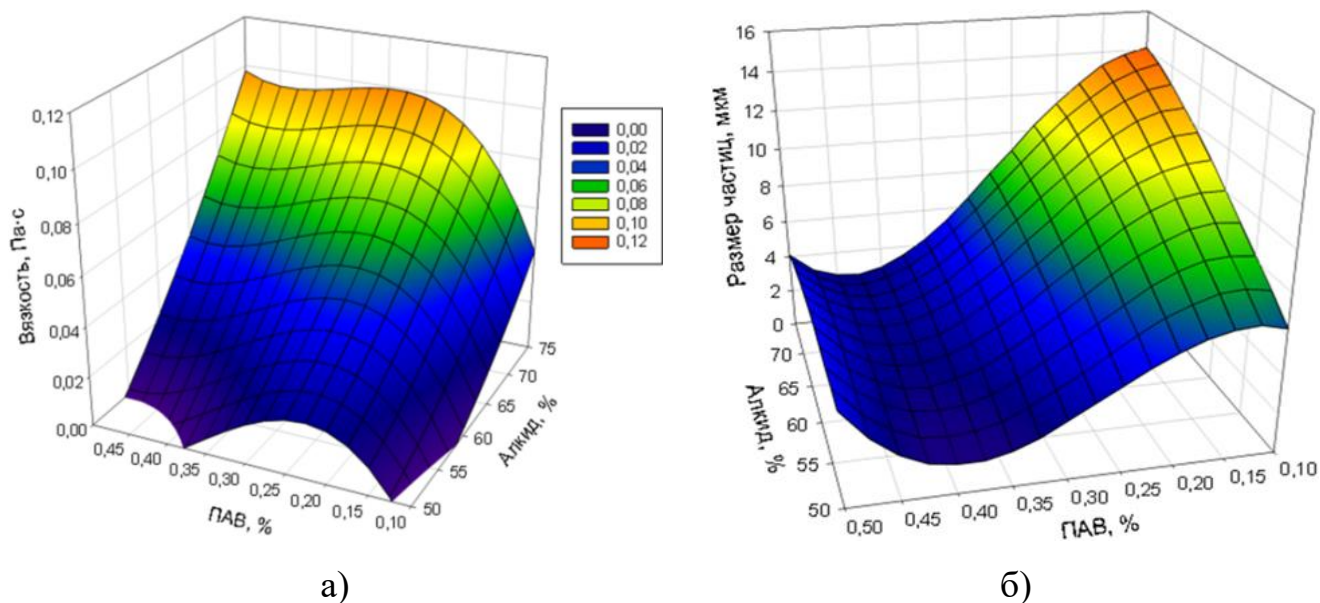


Рисунок 3.16 – Зависимость динамической вязкости (а) и дисперсности (б) эмульсии от содержания алкидного лака и эмульгатора АМР-95

Для выявления особенностей АМР-95 как эмульгатора, в качестве ПАВ были также рассмотрены поливиниловый спирт (ПВС), как самостоятельно применяемый компонент в пылеподавляющих водных растворах, а также IVP-314, как часто приме-

няемый в лакокрасочной промышленности эмульгатор для алкидных эмульсий.

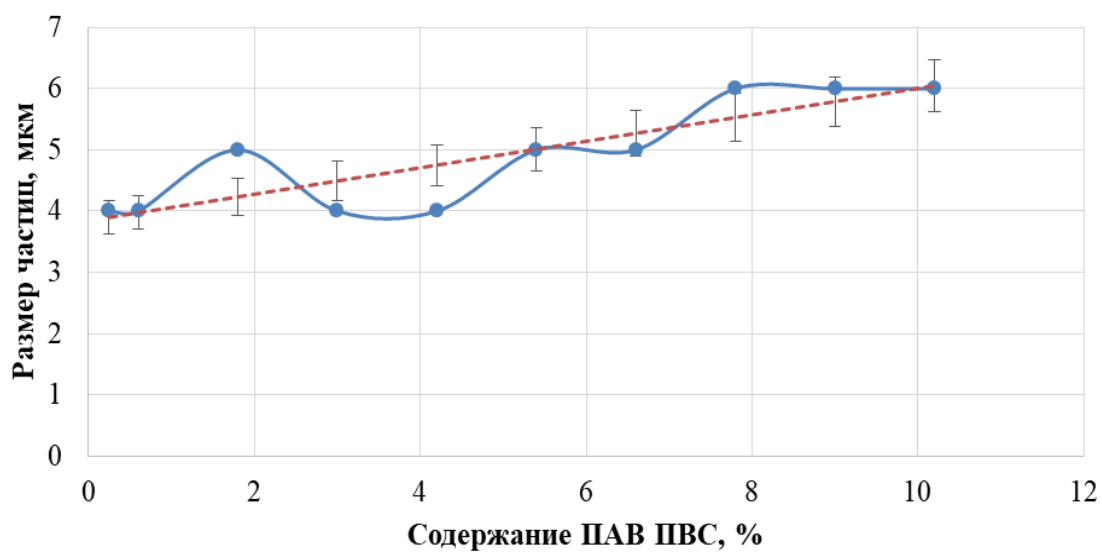
Таким образом, исходя из результатов исследований (см. таблицу 3.9) установлены рациональные составы алкидной эмульсии на водной основе для различных исходных концентраций дисперсной фазы с учетом оптимального количества АМР-95 (масс.%): состав № 2 – 54,8 % алкида, 45 % воды и 0,2 % ПАВ (которое вводится в систему при замене части алкида) со сроком жизни более 1 месяца и средним размером капель 3 мкм; состав № 8 – 59,7 % алкида, 40 % воды и 0,3 % ПАВ – со сроком жизни более 2 месяцев и размером капель 3 мкм; состав № 12 – 64,8 % алкида, 35 % воды и 0,2 % ПАВ – со сроком жизни более 2 месяцев и размером капель 10 мкм; состав № 18 – 69,7 % алкида, 30 % воды и 0,3 % ПАВ – со сроком жизни более 2 месяцев и размером капель 3 мкм; состав № 23 – 74,7 % алкида, 25 % воды и 0,3 % ПАВ – со сроком жизни 6 дней и размером капель 8 мкм. Однако составы № 12 и 23 с процентным содержанием ПАВ от алкида – 0,31 и 0,40 % соответственно, при наилучшей агрегативной устойчивости, характеризуются высоким значением размера капель, что в дальнейшем приведет к низкой степени захвата тонкодисперсных частиц при обработке пылящих поверхностей. Состав № 18 характеризуется высокой вязкостью, что может помешать распределению эмульсии и пропитке ее компонентов в толщу источника пыления. Состав № 2 имеет недостаточное содержание полимерного компонента, что так же может повлиять на пылеподавляющие характеристики. Состав № 8 при небольшой вязкости характеризуется меньшим размером капель и наибольшим сроком жизни, наряду с оптимальным содержанием ПАВ к алкиду.

ПВС показывает линейный рост размеров капель при увеличении его содержания в эмульсии. Минимальный размер капель (4 мкм) может быть обеспечен при 0,25 – 4 масс.% концентрации ПВС (таблица 3.7). Ожидаемо, составы эмульсии, приготовленной на водных растворах ПВС, показывают линейный рост вязкости при увеличении его концентрации (рисунок 3.17, б). Сильное загущение эмульсии при введении ПВС свыше 4 масс.%, в совокупности с недостаточной диспергирующей способностью лабораторного эмульгатора, объясняют рост размеров капель.

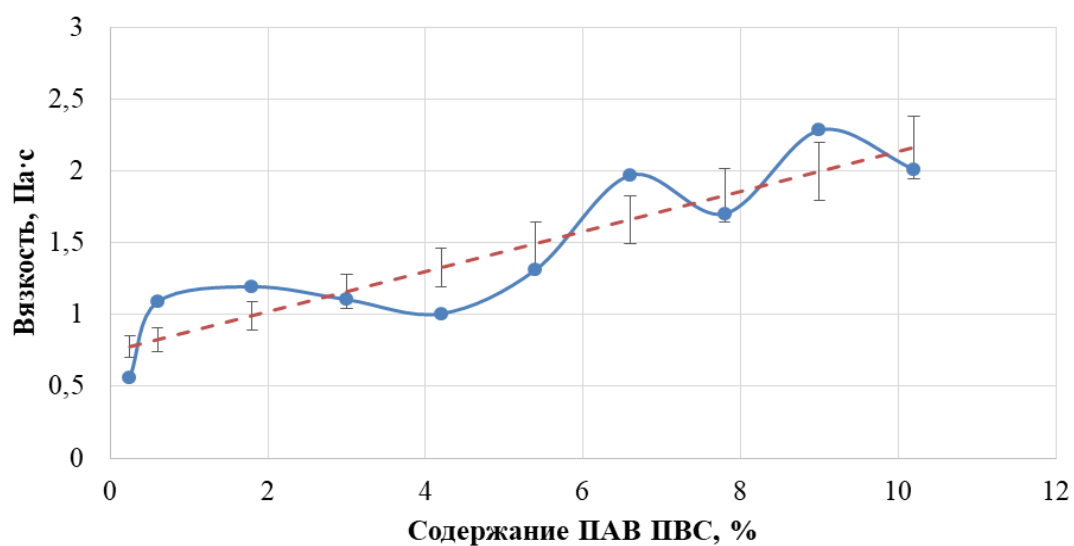
Снижение агрегативной устойчивости при увеличении содержания ПВС в эмульсии обусловлено статистическими законами диффузии и непосредственно связано с адсорбционно-сольватным равновесием на границе «алкид – вода» (рисунок 3.17, в). Это приводит к росту размеров капель и снижает термодинамический фактор агрегативной устойчивости (рисунок 3.17, а). Вязкость эмульсии составляет 23 с, что подтверждает достаточно жидкое течение эмульсии в состоянии покоя. Разница в значениях может объясняться структурой, плотно упакованные на поверхности капли дисперсной фазы капли ПВС имеют одинаковую толщину слоя на границе покоя. Увеличение вязкости при сдвиговой деформации может свидетельствовать об утолщении слоя в момент увеличения размера капель и о неравномерной (рыхлой) поверхности с адсорбированным эмульгатором на границе с каплей алкида.

Таблица 3.7 – Составы и свойства алкидных эмульсий при использовании в качестве эмульгатора ПВС

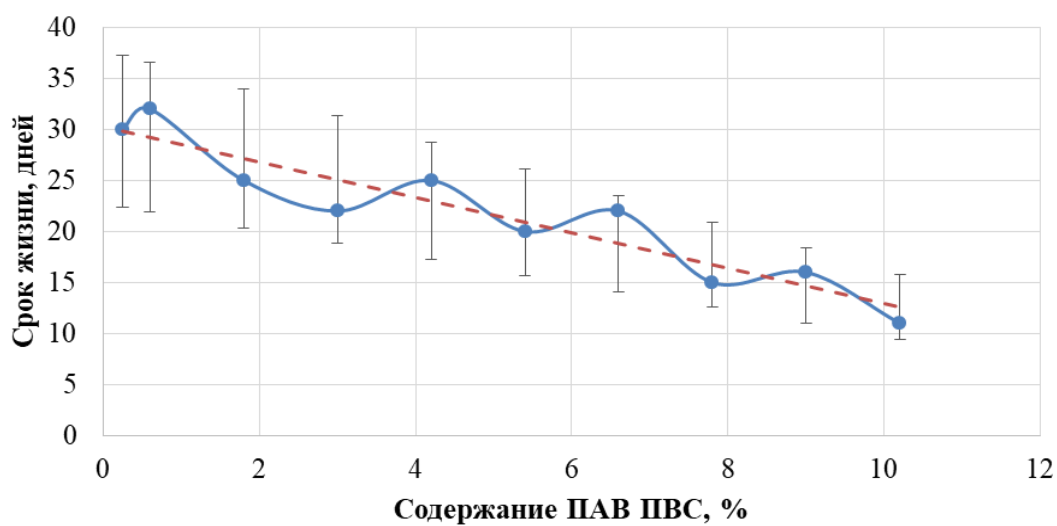
№ п/п	Состав эмульсии (алкид/вода/ПАВ), масс. %	масс. % ПАВ от алкида	Показатели		
			Размер капель, мкм	Динамическая вязкость, Па×с	Срок жизни, дней
1.	59,75 / 40 / 0,25	0,42	4	0,562	30
2.	59,4 / 40 / 0,6	1,01	4	1,088	32
3.	58,2 / 40 / 1,8	3,09	5	1,195	25
4.	57 / 40 / 3	5,26	4	1,105	22
5.	55,8 / 40 / 4,2	7,53	4	1,007	25
6.	54,6 / 40 / 5,4	9,89	5	1,314	20
7.	53,4 / 40 / 6,6	12,36	5	1,972	22
8.	52,2 / 40 / 7,8	14,94	6	1,704	15
9.	51 / 40 / 9	17,65	6	2,285	16
10.	49,8 / 40 / 10,2	20,48	6	2,012	11



а)



б)



в)

Рисунок 3.17 – Зависимость размера капель (а), динамической вязкости (б) и срока жизни эмульсии (в) от содержания ПВС (масс.%)

По сравнению с АМР-95 неионогенный ПАВ IVP-314 имеет более широкий рабочий диапазон применения (таблица 3.8), в котором ПАВ не демонстрирует признаков загущения, аналогичных АМР-95. Зависимость имеет параболический характер со слабовыраженным пиком при 2,23 масс.% концентрации введения ПАВ в эмульсию, соответствующим минимальному значению размера капель (до 3 мкм), что может говорить о стерическом характере стабилизации эмульсии.

Таблица 3.8 – Составы и свойства алкидных эмульсий при использовании в качестве эмульгатора IVP-314

№ п/п	Состав эмульсии (алкид/вода/ПАВ), масс. %	масс. % ПАВ от алкида	Показатели		
			Размер капель, мкм	Динамическая вязкость, Па×с	Срок жизни, дней
1.	59,9 / 40 / 0,1	0,17	9	2,045	3
2.	59,4 / 40 / 0,6	1,01	4	15,641	6
3.	58,9 / 40 / 1,1	1,87	4	28,024	7
4.	58,4 / 40 / 1,6	2,74	3	34,741	12
5.	57,9 / 40 / 2,1	3,63	3	36,147	15
6.	57,4 / 40 / 2,6	4,53	3	38,014	14
7.	56,9 / 40 / 3,1	5,45	3	32,548	20
8.	56,4 / 40 / 3,6	5,50	4	30,391	15
9.	55,9 / 40 / 4,1	7,34	3	24,125	12
10.	55,4 / 40 / 4,6	8,30	6	20,04	9
11.	54,9 / 40 / 5,1	9,29	8	19,349	7

Иначе говоря, в межфазном пространстве капель эмульсии формируются плотные сольватные слои, определяющие высокое внутреннее трение, но зато, препятствующие коагуляции. Срок жизни эмульсии также зависит от содержания IVP-314 в эмульсии. Параболический характер зависимости со слабовыраженным пиком

при 2,9 масс.% введении в состав эмульсии повторяет аналогичные зависимости для вязкости и размеров капель. Соответствие экстремальных значений всех анализируемых показателей одной концентрации ПАВ свидетельствует о кинематическом принципе агрегативной устойчивости, связанной с высокой вязкостью эмульсии и малой разницей плотностей алкида и дисперсионной среды с растворенным в ней ПАВ (рисунок 3.18).

Наиболее интересными с точки зрения оценки эффективности стабилизации эмульсии и работы АМР-95 являются составы со сниженным количеством воды – 40 масс.% и повышенным количеством алкида – 60 масс.%, требующие более подробного изучения выбранного диапазона АМР-95 от 0,1 до 0,6 масс.% (с шагом 0,05 масс.%) от общей массы эмульсии и от 0,17 масс.% до 1,01 масс.% от массы алкида (таблица 3.9).

Таблица 3.9 – Составы и свойства алкидных эмульсий при использовании в качестве эмульгатора АМР-95

№ п/п	Состав эмульсии (алкид/вода/ПАВ), масс.%	масс.% ПАВ от алкида	Показатели		
			Размер ка- пель, мкм	Динамическая вязкость, Па×с	Срок жизни, дней
1.	59,9 / 40 / 0,1	0,17	12,0	0,0097	6
2.	59,85 / 40 / 0,15	0,25	10,2	0,0262	36
3.	59,80 / 40 / 0,2	0,33	9,0	0,0357	41
4.	59,75 / 40 / 0,25	0,42	6,1	0,0332	65
5.	59,70 / 40 / 0,3	0,50	4,0	0,0252	87
6.	59,65 / 40 / 0,35	0,59	2,9	0,0241	58
7.	59,60 / 40 / 0,4	0,67	3,0	0,0226	32
8.	59,55 / 40 / 0,45	0,76	3,0	0,0192	33
9.	59,50 / 40 / 0,5	0,84	4,0	0,0239	22
10.	59,45 / 40 / 0,55	0,93	5,4	0,0387	6
11.	59,40 / 40 / 0,6	1,01	9,0	0,0639	—

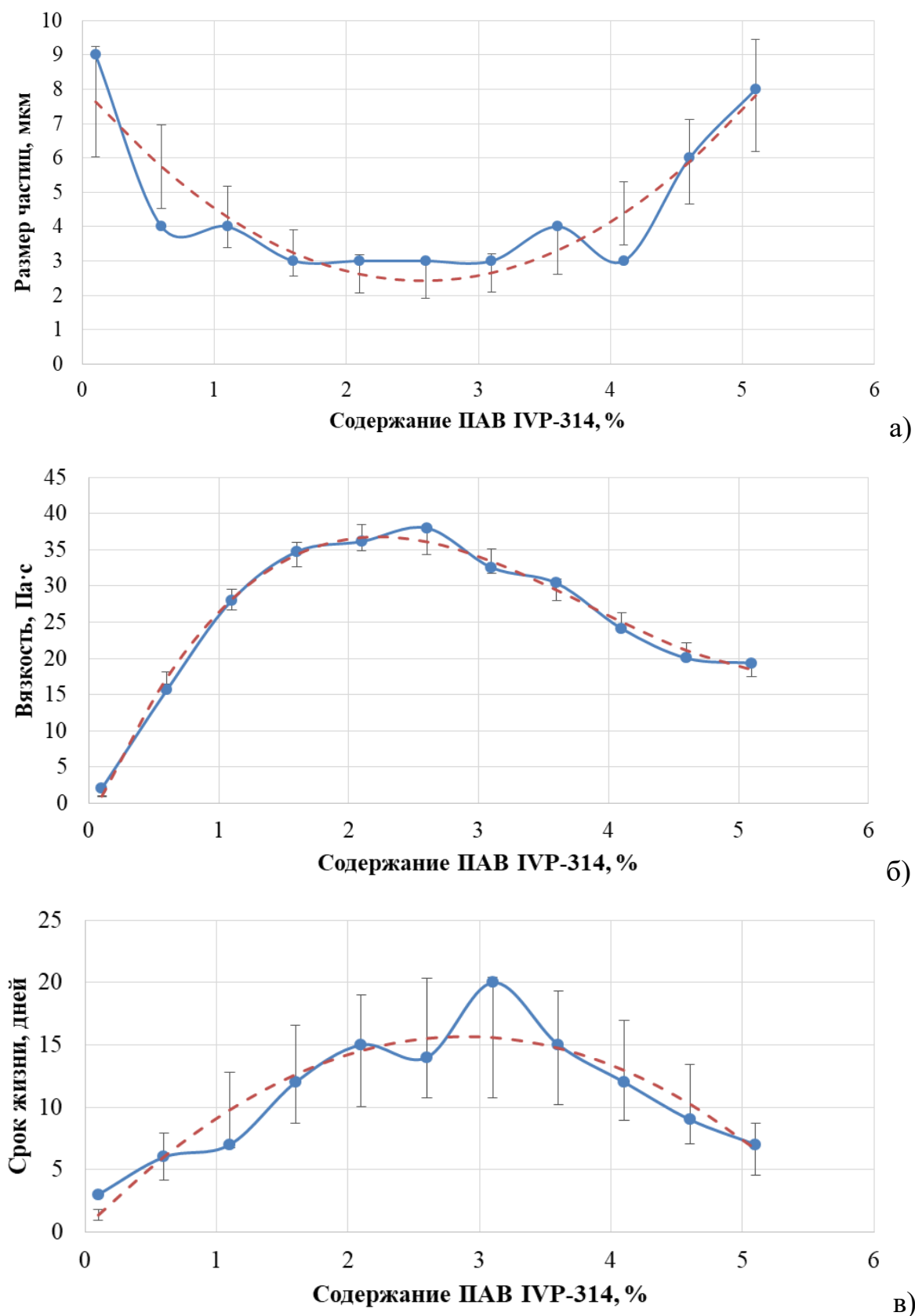


Рисунок 3.18 – Зависимость размера капель (а), динамической вязкости (б) и срока жизни эмульсии (в) от содержания IVP-314 (масс.%) (0,1– 5,1 % от общей массы эмульсии, 0,17–9,29 % от массы алкида)

Зависимость размера капель от концентрации ПАВ показывает параболический характер с минимумом (до 3 мкм) при 0,4 масс.% (рисунок 3.19). Зависимость вязкости от концентрации АМР-95 имеет гиперболический характер загущения при увеличении количества введенного ПАВ. Поскольку данный ПАВ является неионогенным, это явление можно объяснять переходом системы от гидрозолей к гидрогелям начиная с 0,43 масс.% концентрации АМР-95.

Это также подтверждается минимумом размера капель эмульсии при данной концентрации. Максимум при концентрации 0,23 масс.%, через который проходит вязкость эмульсии при повышении концентрации ПАВ, известен как «водный холм» – в растворе происходит вытягивание клубков и молекулярных ассоциатов. Устойчивость к седиментации имеет параболический характер с максимумом при 0,27 масс.% концентрации ПАВ.

Однако, ввиду большой погрешности эксперимента и эмпирического максимума при 0,3 масс.%, данный максимум следует рассматривать в интервале концентраций от 0,2 до 0,35 масс.%. Исходя из этого, оптимальная, с точки зрения минимального размера капель, концентрация 0,4 масс.% не обеспечивает наилучшей агрегативной устойчивости, что, скорее всего, вызвано перераспределением ПАВ из дисперсионной среды на поверхность алкидной фазы. Это также можно косвенно связать с падением вязкости в диапазоне концентраций АМР-95 с 0,2 до 0,4 масс.%.

Исходя из приведенных данных наиболее перспективным эмульгатором для разработки составов водных алкидных эмульсий является ПАВ АМР-95, имеющий меньший расход, высокую стойкость к расслоению и рациональную вязкость в рабочем диапазоне применения.

По результатам сравнения характеристик между всеми перечисленными выше составами были отобраны по два состава с каждым видом эмульгатора (ПВС, IVP-314, АМР-95). Исходя из процентного содержания ПАВ в эмульсии в таблице 3.10 отображены результаты оценки качества полимерной пленки, получаемого на основе синтезированной эмульсии.

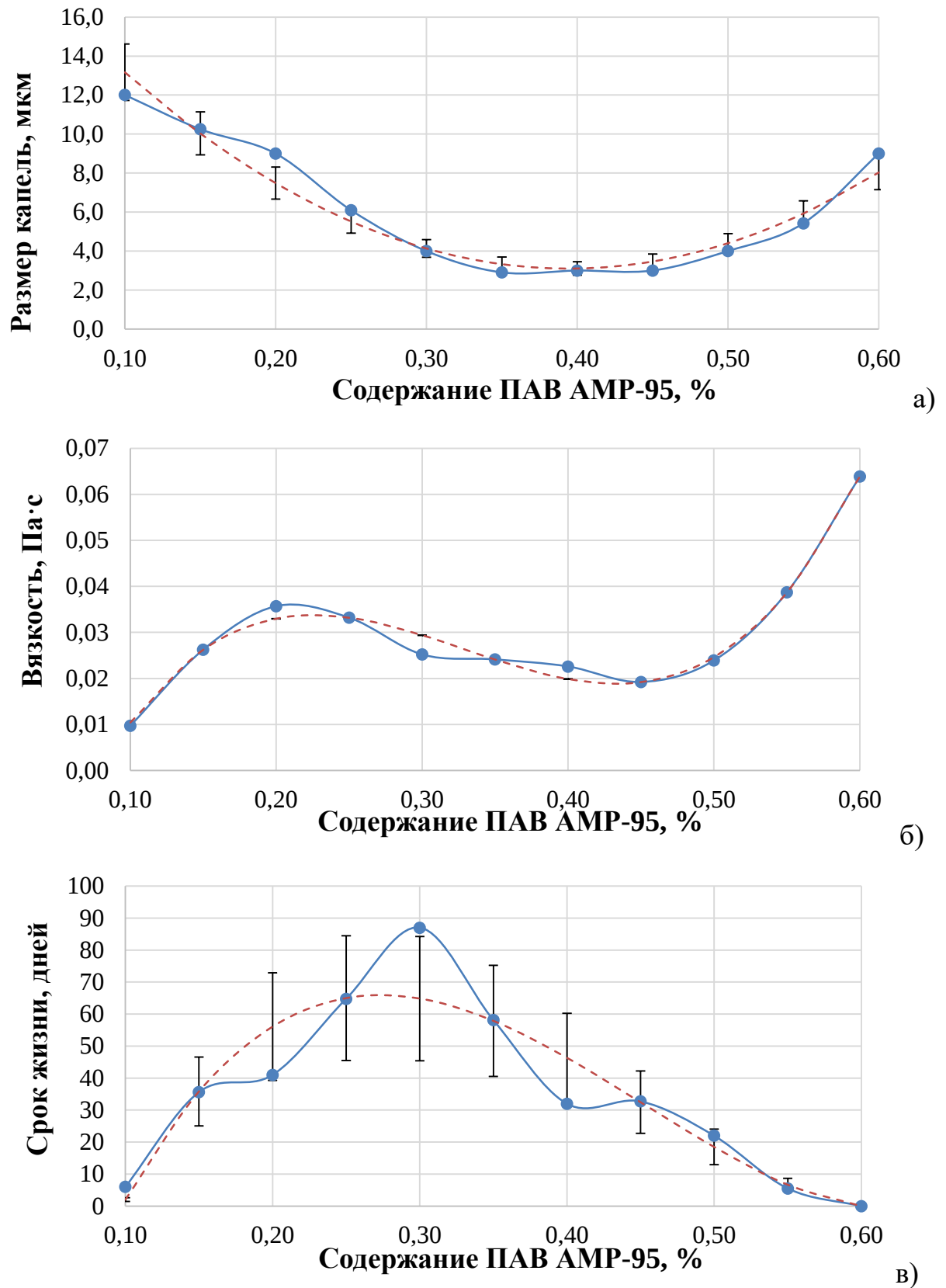


Рисунок 3.19 – Зависимость размера капель (а), динамической вязкости (б) и срока жизни эмульсии (в) от содержания AMP-95 (масс.%)

Поскольку при эффективной стабилизации капле эмульсии на их поверхности формируются прочные межфазные оболочки ПАВ, система остается высоковязкой даже при сильном разбавлении. Используемые неионогенные ПАВ растворяются именно в дисперсионной среде, что может повысить вероятность неспособности данными эмульсиями формировать ровные сплошные пленки на поверхности частиц пыли, склеивающие и связывающие их в агломераты. Гидрофильность или гидрофобность пленки определяется характером распределения ПАВ (не распределение, перераспределение, связывание) на поверхности или подложке полимерного слоя, при этом сниженное значение контактного краевого угла свидетельствует о том, что гидрофильная часть молекулы ПАВ выстроена у поверхностного слоя пленки (рисунок 3.20).

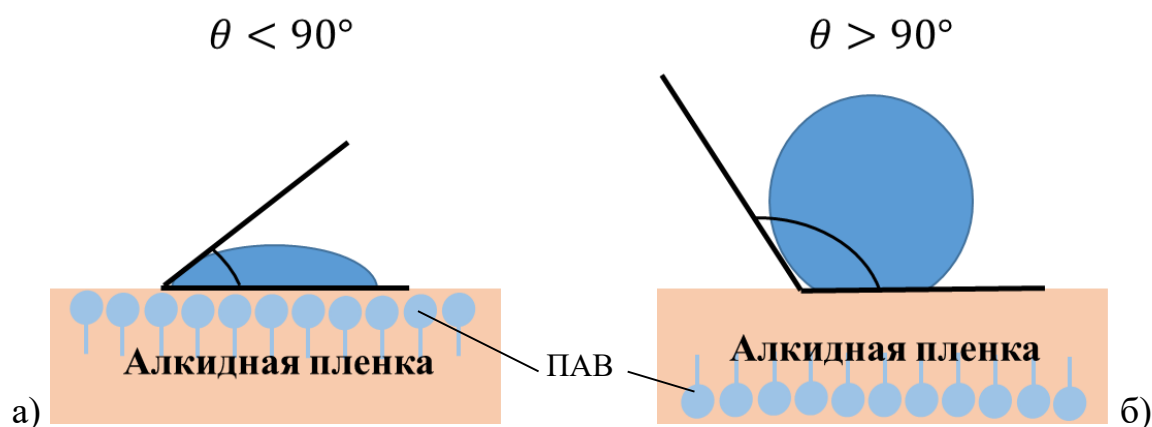


Рисунок 3.20 – Влияние адсорбции ПАВ на формирование гидрофильной и гидрофобной поверхности алкидной пленки:

- а – распределение ПАВ на поверхности полимеризационной алкидной пленки,
- б – распределение ПАВ на подложке полимеризационной алкидной пленки

Оценку качества поверхности полимерной пленки, зависящего от содержания и равномерности распределения ПАВ в полимере, проводили путем измерения краевого угла (θ) и расчета методом ОВРК (метод Оунса, Вендта, Рабеля и Кьельбле) по линейной регрессии свободной энергии поверхности (таблица 3.10). При этом чем меньше разница в показателях θ по тестовым жидкостям, тем более развитая морфология поверхности полимерной пленки.

Таблица 3.10 – Зависимость свободной энергии поверхности от краевого угла

Вид ПАВ	масс.% ПАВ от алкида	Краевой угол, °		Разница θ между тест. жидкостями	Свободная энергия поверхности, мН/м
		вода	диiodометан		
ПВС	0,42	103,0	51,6	51,4	33,4
	7,53	113,4	65,4	48	25,5
IVP-314	3,63	88,1	40,2	47,9	35,6
	5,45	86,2	39,9	46,4	34,9
AMP-95	0,50	100,3	39,1	60,9	39,2
	0,67	96,3	42,7	53,6	39,5

Исходя из данных, представленных в таблице 3.10, наибольшим гидрофобным свойством обладает состав в присутствии эмульгатора ПВС с 7,53 масс.% от массы алкида. Однако, высокий угол смачивания на обеих тестовых жидкостях свидетельствует о высокой иерархии поверхности. Такая же закономерность прослеживается в составах с процентным содержанием IVP – 3,63 масс.% и AMP – 0,67 масс.%. Как наилучшие составы, стоит выделить ПВС – 0,42 масс.% от алкида, IVP – 3,63 масс.%, а также AMP – 0,50 масс.%. В составах эмульсии в присутствии IVP и ПВС наблюдается низкая развитость полимерной пленки наряду с высоким гидрофобным эффектом. В эмульсии, имеющей в своем составе 0,50 масс.% AMP от алкида, отмечена наилучшая пленкообразующая способность с увеличенным углом смачивания (100,29°).

Таким образом, обоснована и подтверждена возможность получения при минимальном содержании ПАВ к алкиду не только стабильной и устойчивой во времени дисперсии, но и качественной полимерной пленки на ее основе. Для каждого вида ПАВ установлены рациональные концентрации (таблица 3.11), обеспечивающие наилучшие характеристики алкидной эмульсии.

Таблица 3.11 – Свойства алкидной эмульсии и образованной ею пленки
в зависимости от вида ПАВ

Контролируемые параметры		Вид ПАВ		
		ПВС	IVP-314	AMP-95
масс.% ПАВ от алкида		0,42	3,63	0,50
Динамическая вязкость, мПа×с		0,562	36,147	40,872
Размер капель, мкм		4	3	3
Срок жизни, сут		30	15	87
Свободная энергия поверхности, мН/м		33,38	35,64	39,15
Краевой угол, °	вода	103,0	88,1	100,3
	дийодометан	51,6	40,2	39,1

3.6 Влияние модификатора дисперсной фазы и дисперсионной среды на свойства эмульсии

Модификаторы дисперсной фазы эмульсии алкидной смолы на водной основе отвечают за образование полимерной пленки на поверхности пылеобразующей дисперсии, стабилизирующей пылевые частицы. Основной задачей модификаторов эмульсии является повышение коллоидно-химических свойств как самой эмульсии, так и физико-механических показателей полимерной пленки на ее основе за счет трехмерной окислительной полимеризации алкида.

Процесс отверждения основан исключительно на поперечном сшивании хвостов жирных кислот, происходящем в присутствии кислорода воздуха. Можно выделить два способа полимеризации эмульсии алкидной смолы, первый – путем физической сушки (испарение растворителя) и второй – путем окислительной полимеризации (химическая реакция сшивания кислородом воздуха). Окислительная полимеризация протекает по свободно радикальному цепному механизму, представленному на рисунке 3.21.

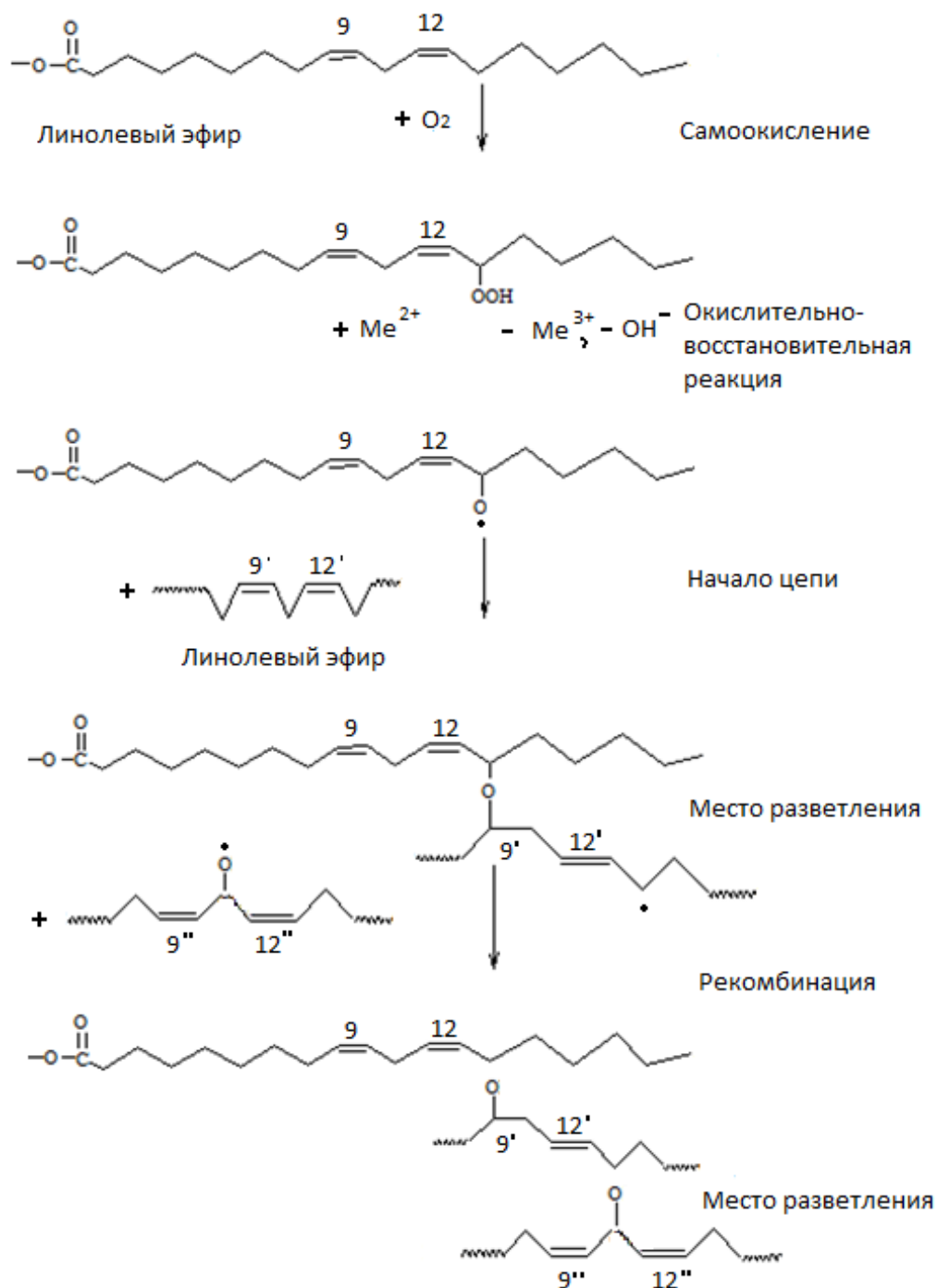


Рисунок 3.21 – Окислительная полимеризация [149]

Такой процесс, известный как самоокисление, обычно протекает очень медленно при температуре окружающей среды и должен катализироваться соединениями переходных металлов, так называемыми сиккативами. Эти катализаторы значительно сокращают время сушки и улучшают физические свойства полимерной пленки. Химическая формула отверждающего катализатора выглядит следующим

образом:



где R – алифатический или циклический углеводород, Me – металл с валентностью x .

Механизм действия сиккатирующего компонента заключается в многократном отщеплении иона металла от наиболее низкой к более перспективной (высокой) степени окисления. Кислородсодержащие радикалы, образованные из гидропероксидов, могут вместе с двойными связями остатков жирных кислот вызвать радикальную цепную полимеризацию. Тогда в результате соединений остатков жирной кислоты алкидной смолы через С–О–С и С–С мостики формируется сетчатые структуры [149]. Однако, в процессе протекания реакции потеря активности катализатора ведёт к возрастанию времени полного пленкообразования. Это может выражаться процессом адсорбции – увеличением концентрации сиккатива на поверхности полимерной капли [150].

Существуют 2 типа отверждающего катализатора – первичный (сиккативы Co, Mn, Fe, V и Ce) и вторичный (сиккативы Zr, La, Nd, Al, Bi, Sr и т.д.) [150]. Различие между первичным и вторичным сиккативами заключается в механизме их действия на процесс полимеризации полимера. Один отвечает за поверхностную – первичные сиккативы, а другой за объемную полимеризацию полимерной пленки – вторичные сиккативы. Исходя из чего, в лакокрасочной промышленности при приготовлении материалов на основе алкида широко применимы сиккативы Co и Zr. Для равномерной, объемной и поверхностной полимеризации пленки эмульсии алкидной смолы применение этой пары сиккатирующих добавок рекомендовано применение 1:3. Сиккативы на основе Co считаются наиболее активными в присутствии вторичного отвердителя, который представляет собой органическую соль металла – Zr.

Помимо сиккатирующего модификатора дисперсной фазы эмульсии, активными компонентами, участвующими в меньшей степени в процессе пленкообразования, с точки зрения ускорителя сушки, а в большей степени отвечающим за пластифицирующий эффект для полимера (действие коалесцентов в большей степени на границу раздела фаз) и эластичность пленки, являются коалесцирующие добавки.

Коалесценты участвуют в рассредоточении связующего компонента эмульсии и в формировании сплошной гибкой пленки с высоким адгезионным показателем, данные результаты приведены в публикации автора [151]. Перечисленные параметры достигаются благодаря физико-химическим процессам, происходящим по средствам слияния капель и диффузии капли полимера в образовании сплошной пленки.

В ранее описанном исследовании диссертационной работы (гл. 3.5, рисунок 3.17) на основании реологии состава эмульсии, где в качестве эмульгатора выступал АМР-95, был зафиксирован так называемый «водный холм» в максимальном значении вязкости. Для того чтобы уменьшить или полностью устранить этот максимум следует увеличить гидрофильность дисперсной фазы или лиофильность дисперсионной среды по отношению к алкиду. Одной из задач на завершающем этапе установления оптимального состава эмульсии алкидной смолы, является снижение показателя контактного угла и придание гидрофильности полимерному слою, наряду с повышением физико-механических показателей, для чего в работе был рассмотрен ряд модифицирующих компонентов дисперсной фазы.

Для ускорения протекания окислительной полимеризации алкидной глифталевой смолы в работе был использован первичный – 12 масс.% кобальтовый сиккатив и вторичный – 18 масс.% сиккатив циркония. В качестве коалесцирующей добавки, действие которого схоже с действием сорастворителя на эмульсию алкидной смолы – этиленгликоль, пропиленгликоль и глицерин. Сиккатив и коалесцент вводились в состав ранее подобранного состава (гл. 3.5 – 59,7 масс.% алкида, 40 масс.% воды, 0,3 масс.% АМР-95) с шагом 0,76 масс.% – сиккатив Zr, 0,38 масс.% – сиккатив Со и 2 масс.% – коалесцирующие добавки от количества трехкомпонентной эмульсии. Исследование направлено на определение физико-механических, коллоидно-химических свойств химически полимеризованной пленки эмульсии алкидной смолы. Эффективность модифицирующих компонентов оценивали по результатам срока жизни и степени дисперсности эмульсии, а также по физико-механическим и физико-химическим показателям (твердость, время высыхания, краевой угол)

полимерной пленки (таблицы 3.12, 3.13, 3.14). Одновременное введение двух видов модификаторов обеспечивает улучшенную морфологию пленки.

Таблица 3.12 – Оценка коллоидно-химических свойств алкидной эмульсии в зависимости от содержания сиккатива

Сиккатив, масс.%		Показатели	
Co	Zr	Размер капель, мкм	Срок жизни, дней
0,39	0,78	3	75
0,77	1,54	3	87
1,15	2,30	3	80
1,53	3,06	3	79
1,91	3,82	3	75

Таблица 3.13 – Оценка полимерной пленки на основе алкидной эмульсии в зависимости от содержания сиккатива

Сиккатив, масс.%		Показатели				
Co	Zr	Краевой угол, °		Свободная энергия поверхности, мН/м	Твердость, у.ед.	Время высыхания, ч
		Вода	Дийодометан			
0,39	0,78	90,4	43,1	37,3	0,11	22
0,77	1,54	94,4	47,4	36,7	0,24	19
1,15	2,30	93,2	48,0	36,2	0,17	16
1,53	3,06	93,3	46,1	35,6	0,13	21
1,91	3,82	87,0	42,9	35,8	0,012	22

По результатам исследования влияния концентрации отверждающего модификатора дисперсной фазы можно сделать вывод об отсутствии влияния сиккатива на коллоидно-химические свойства эмульсии и ожидаемом изменении физико-механических свойств полимерной пленки. Значительное ускорение сушки пленки (до 19 ч) и ее твердости (до 0,07 отн. ед.) происходит при введении 2–3 масс.% смеси сиккативов кобальта и циркония, что объясняется ускорением процесса поликонден-

сации смолы. Однако дальнейшее повышение концентрации сиккативов выше 4 масс.% приводит к снижению твердости и увеличению времени высыхания. Это происходит отчасти за счет быстрого образования пленки из алкидной смолы на поверхности эмульсии еще не полностью отделившей воду. В результате в объеме пленки это приводит к смещению реакции поликонденсации в сторону исходных веществ, поскольку вода в этом случае является именно продуктами реакции.

Таблица 3.14 – Влияние добавок коалесцента на свойства эмульсии

Вид коалесцента	Концентрация коалесцента, масс. %	Свойства эмульсии		Свойства алкидной пленки		
		Размер капель, мкм	Срок жизни, сут	Краевой угол, °		Твердость, у.ед.
				Вода	Дийодометан	
Этиленгликоль	1	2	51	89,6	45,6	0,29
	2	3	49	91,3	41,5	0,29
	4	4	78	96,8	60,1	0,30
	6	4	87	97,5	47,2	0,32
	8	6	47	97,1	42,2	0,31
	10	6	47	95,6	43,3	0,31
Глицерин	1	6	46	79,5	56,1	0,30
	2	5	31	78,2	47,4	0,29
	4	5	32	81,3	48,2	0,29
	6	6	35	97,1	52,6	0,28
	8	5	34	94,9	57,1	0,28
	10	5	32	78,7	46,3	0,28
Пропиленгликоль	1	13	15	96,0	52,1	0,24
	2	12	17	98,3	41,3	0,23
	4	11	33	97,8	65,9	0,23
	6	11	45	89,1	61,9	0,26
	8	10	52	82,0	42,3	0,26
	10	7	33	81,9	45,9	0,26

Ввиду этого появилась необходимость оценить возможность использования традиционно используемых коалесцентов (этиленгликоля, пропиленгликоля и глице-

рина) в качестве модификаторов дисперсной фазы эмульсии, а именно алкидной смолы. Для этого были приготовлены составы эмульсии с концентрациями введения коалесцента 1–10 масс.%. Показателями эффективности данной модификации выступили те же характеристики, что и в предыдущем опыте: степень дисперсности и устойчивость эмульсии, а также краевой угол и твердость.

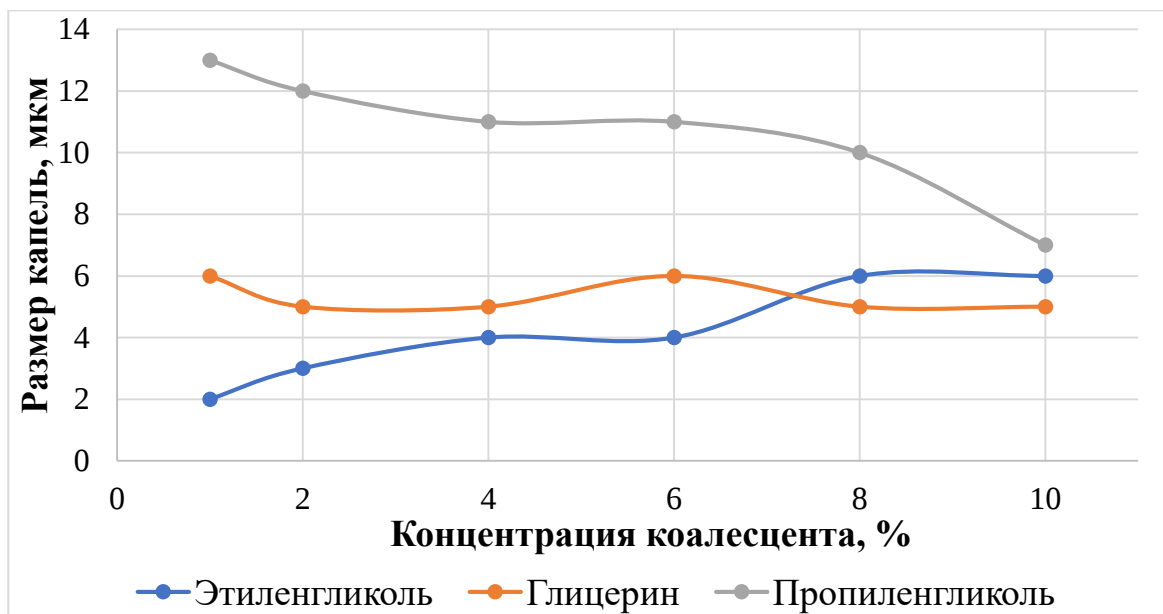
На рисунке 3.22 представлена зависимость коллоидно-химических свойств эмульсии в присутствии коалесцирующих компонентов алкидной эмульсии: зависимость средней дисперсности (рисунок 3.22 а), устойчивости эмульсии (рисунок 3.22 б) и краевой угол, определенный при помощи двух тестовых жидкостей – дийодометан (рисунок 3.22 в) и дистиллированная вода (рисунок 3.22 г) от содержания трех видов коалесцентов – этиленгликоль, глицерин, пропиленгликоль.

В отличие от сиккативов характер влияния коалесцентов зависит от вида и содержания в составе эмульсии (рисунок 3.22). Глицерин в качестве модификатора дисперсной фазы не вызывает значительных изменений как эмульсии алкидной смолы, так и полученного покрытия. Это может быть связано с тем, что он является частью системы «глицерин-фталевый ангидрид», хоть и частично в полимеризованном виде. Дополнительный избыток гидроксильного компонента в заданном диапазоне концентраций не приводит к какому-либо заметному смещению точки гелеобразования.

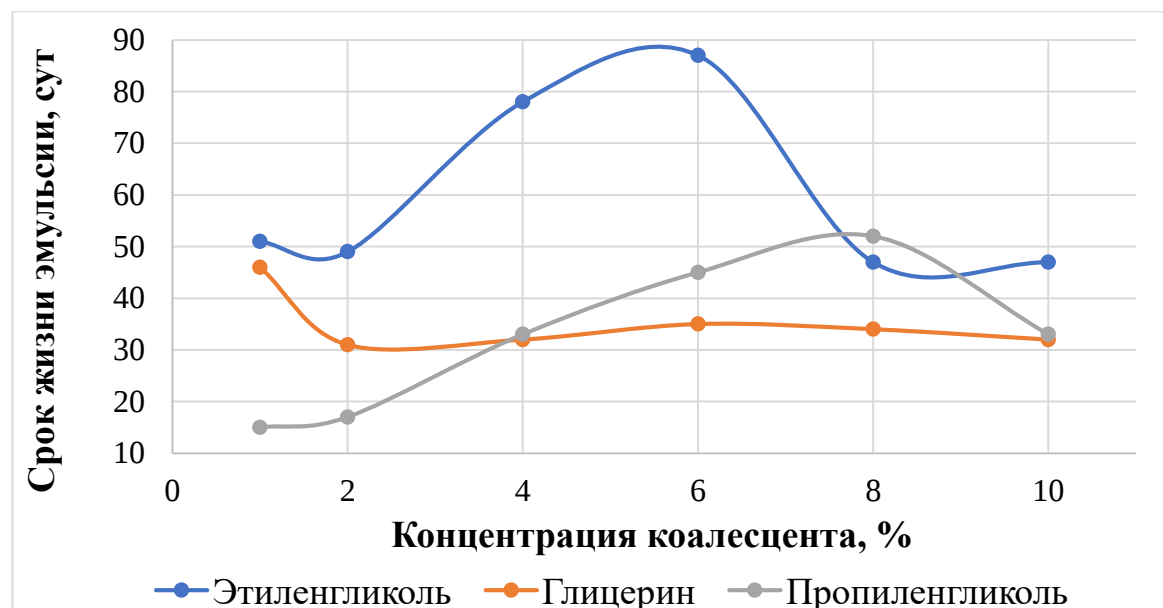
Пропиленгликоль, имея бóльшую по сравнению с этиленгликолем алифатическую часть, приводит к уменьшению размеров капель и повышению устойчивости эмульсии почти на всем диапазоне концентраций введения. Но в отвержденной пленке это не приводит к повышению твердости, что означает отсутствие влияния на процесс отверждения алкида. Краевой угол показывает в малых концентрациях введения (до 5 масс.%) небольшой рост иерархии поверхности, что обеспечивает увеличения угла смачивания как водой, так и дийодометаном. Но в дальнейшем краевой угол падает, что может свидетельствовать о достижении концентрации достаточной для пластификации и коалесценции капель эмульсии. Этиленгликоль отличается небольшим ростом размеров капель, но при этом значительным ростом устойчивости и твердости пленки. Нельзя говорить, что это вызвано рельефностью

или повышением сплошности пленки, поскольку краевой угол остается практически неизменным во всем диапазоне введения. В процессе полимеризации происходит частичное связывание алкида и набухание алкидных сеток.

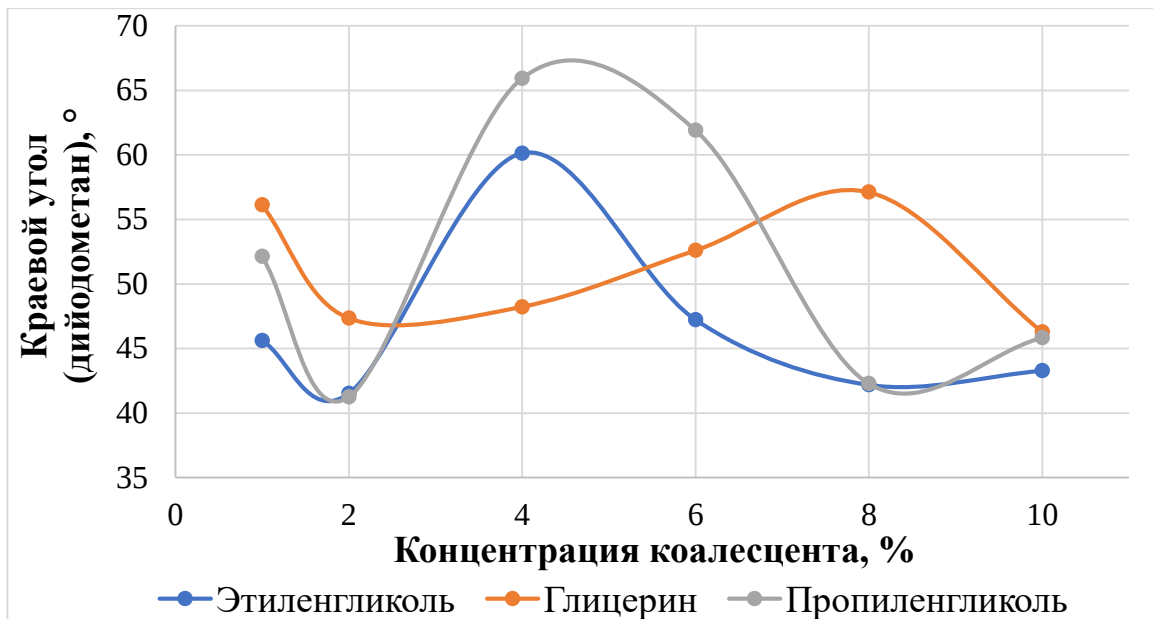
Таким образом, установлен характер влияния модифицирующих компонентов на эмульгирование алкидной смолы при получении пылеподавляющей эмульсии. Введение от общей массы коалесцирующего компонента 6 масс.% и сиккативов кобальта и циркония 0,034 и 0,066 масс.% соответственно, обеспечивают формирование алкидной пленки, представляющей собой консолидированный слой (КС) частиц пылеобразующей дисперсии, с краевым углом – $97,5^\circ$, свободной энергией поверхности – 36,69 мН/м, твердостью пленки – 0,32 у.ед. и временем высыхания – 19 ч.



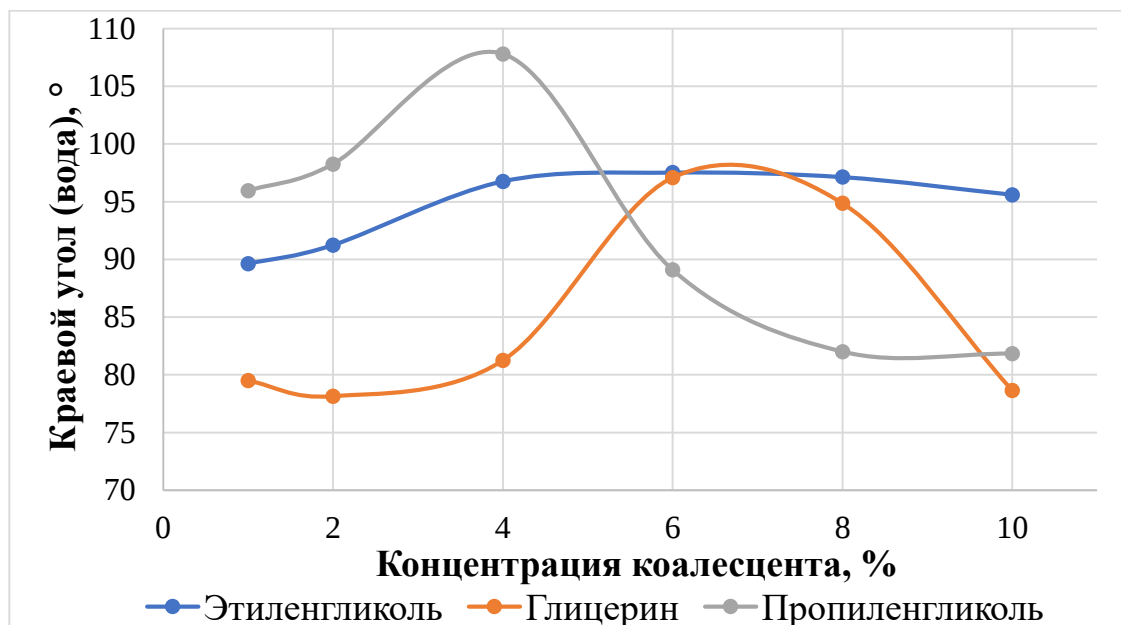
а)



б)



в)



г)

Рисунок 3.22 – Зависимость коллоидно-химических свойств эмульсии в присутствии коалесцентов:

а – размер капель, б – срок жизни, в – краевой угол (диодометан),
г – краевой угол (вода)

На основании выше перечисленных данных по подбору технологических параметров эмульгирования эмульсии, а также ее состава и оценки как физико-механических, так и коллоидно-химических свойств в зависимости от содержания дисперсной фазы, эмульгатора и других модификаторов алкидной смолы в составе эмульсии, предложена рациональная рецептура алкидной пылеподавляющей эмуль-

сии на водной основе (в пересчете на 100 масс.%) – алкидная глифталевая смола 56,1 %; вода 37,5 %; 0,3 % АМР-95; этиленгликоль 6 %; сиккатив кобальта 0,034 %; сиккатив циркония 0,066 %.

3.7 Выводы

1. Разработка дизайна эксперимента с пошаговым сопоставлением характеристик с учетом сегмента исследования позволила прогнозировать свойства покрытий алкидной эмульсии для обеспыливания высокодисперсных пылящих объектов, к которым относятся складированные и транспортируемые добытые полезные ископаемые, отвалы и хвостохранилища на горнодобывающих предприятиях, не имеющих твердого покрытия грунтовые дороги и т.п. При этом декомпозиция представлена логически продолжающимися друг друга семью этапами: анализ неорганической модельно пылеобразующей дисперсии; изучение коллоидно-химических, физико-механических и эмульгирующей способности дисперсной фазы; подбор условий эмульгирования алкидной смолы; подбор стабилизирующего компонента эмульсии; подбор отверждающего компонента эмульсии; подбор коалесцирующего компонента эмульсии; изучение КС и пылеобразующей эффективности эмульсии.

2. Изучение комплекса физико-механических, коллоидно-химических и поверхностных свойств ПД, состоящей из широко распространенных в составе земной коры минеральных материалов в виде пылевидного кварца и каолиновой глины, позволили выявить принципиальные особенности пылеобразующих дисперсий. Рассмотренная модель в соответствии с классификацией пыли характеризуется малой и средней дисперсностью, низкой пористостью, высокой сорбционной емкостью и донорно-акцепторной способностью, а также высокой лиофильностью (гидрофильностью). В свою очередь, полученные данные позволяют оценить потенциальную эффективность разработанной алкидной эмульсии и установить необходимость введения вспомогательных компонентов. На основании проанализированных данных можно заключить, что эмульсия алкидной смолы на водной основе позволит обес-

печить высокую проникающую способность средства, что является одним из важнейших критериев для оценки эффективности ПС, однако для нейтрализации глинистых частиц может потребоваться введение вспомогательных компонентов.

3. В результате исследования была выявлена способность алкида к эмульгированию. Анализ полученных данных эмульгирующей способности дисперсной фазы эмульсии позволил произвести визуальную оценку и качественно определить максимально возможное содержание алкидной смолы в двухкомпонентной дисперсии «вода–масло (алкид)», которое составляет 30 масс.%. При изменении концентрации алкида в системе в большую или меньшую сторону наблюдается снижение срока жизни эмульсии. На основании полученных данных целесообразно рассматривать 30 масс.%-ю концентрацию как начальную с целью подбора эмульгирования и рассмотрения возможности ее увеличения для обеспечения плотного консолидированного слоя в конечном итоге.

4. Проведен анализ результатов экспериментальных исследований по оценке пяти способов получения пылеподавляющей алкидной эмульсии на водной основе, отличающихся последовательностью введения компонентов, температурой, скоростью и временем перемешивания и эмульгирования. Проведено ранжирование рецептурно-технологических способов по повышению эффективности получения трехкомпонентной алкидной эмульсии «дисперсная фаза – дисперсионная среда – эмульгатор» по совокупности характеристик (снижение условной вязкости, повышение срока жизни, уменьшение размера капель эмульсии) в следующей последовательности: (Алкид←Вода)←ПАВ (скорость и температура перемешивания соответственно – 10000 об/мин, 35 °С; условная вязкость, срок жизни, размер капель соответственно – 20 с, 3 часа, отсутствие дисперсной структуры); (Вода←Алкид)←ПАВ (6500 об/мин, 35 °С; 70 с, 3 часа, отсутствие дисперсной структуры); (Алкид←ПАВ)←Вода (10000 об/мин, 35 °С; 65 с, 2 дня, отсутствие дисперсной структуры); (Вода←ПАВ)→Алкид (10000 об/мин, 55 °С; 75 с, 7 дней, до 8 мкм); (Алкид←ПАВ)→Вода (5000 об/мин, 35 °С; 24 с, 8 дней, до 17 мкм). Трехкомпонентная алкидная эмульсия, полученная рациональным способом, содержит 55

масс.% полимерного компонента (алкида).

5. Для получения рационального состава эмульсии алкидной смолы рассмотрены 3 вида ПАВ с оценками физико-химических характеристик эмульсии в 3-х компонентной системе (Алкид/ПАВ/Вода). Результатами исследования выступает возможность получения эмульсии при максимальном содержании алкида и минимальном ПАВ – АМР-95, при сохранении должного уровня адсорбционно-сольватного равновесия на поверхности капель эмульсии.

6. Установлен характер влияния модифицирующих компонентов на эмульгирование алкидной смолы при получении эмульсии алкидной смолы. Введение коалесцирующего компонента 6 масс.% и сиккативов кобальта и циркония 0,034 и 0,066 масс.% соответственно, обеспечивают формирование алкидной пленки, представляющей собой консолидированный слой частиц пылеобразующей дисперсии, с краевым углом – $97,5^\circ$, свободной энергией поверхности – $36,69 \text{ мН/м}$, твердостью пленки – 0,32 у.ед. и временем высыхания – 19 ч.

7. На основании комплексного исследования по подбору технологических параметров эмульгирования эмульсии, а также ее состава и оценки как физико-механических, так и коллоидно-химических свойств в зависимости от содержания дисперсной фазы, эмульгатора и других модификаторов границы разделов фаз алкидной смолы в составе эмульсии, предложена рациональная рецептура и технология получения эмульсии алкидной смолы на водной основе (в пересчете на 100 масс.%) – алкидная глифталевая смола 56,1 %; вода 37,5 %; 0,3 % АМР-95; этиленгликоль 6 %; сиккатив кобальта 0,034 %; сиккатив циркония 0,066 %. Установленные рецептурно-технологические параметры обеспечивают получение коллоидно-устойчивой эмульсии с вязкостью $50,7 \text{ мПа}\cdot\text{с}$, сроком жизни – до 87 сут., дисперсностью – до 3 мкм и полимерной пленки, образованной на ее основе, с краевым углом – $97,5^\circ$, свободной энергией поверхности – $36,69 \text{ мН/м}$, твердостью пленки – 0,32 у.ед. и временем высыхания – 19 ч.

4 ВЛИЯНИЕ ЭМУЛЬСИИ АЛКИДНОЙ СМОЛЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

4.1 Оценка эффективности связующей способности эмульсии

Для установления заданных свойств разработанной эмульсии и эффективности обеспыливания неорганических дисперсий аэрозольного типа с ее использованием ранее (см. главу 3.2) был изучен комплекс физико-механических и коллоидно-химических свойств модельной неорганической пылеобразующей дисперсии (ПД) (смеси 3:1 пылевидного кварца с каолиновой глиной) (таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Характеристики ПД без обработки эмульсией

№ п/п	Наименование показателя	Значение	Соответствие классификации
физико-механические свойства			
1.	Частный остаток на сите менее 0,1, %	91	IV ¹
2.	Гранулометрический состав (диапазоны с тах значениями – 0,1–10/10–100 мкм, лазерная дифракция), %	70/30	IV/III ¹
3.	Удельная поверхность (воздухопроницаемость), см ² /г	5 630	—
4.	Удельная поверхность (БДХ), см ² /г	67 800	—
5.	Пористость по БДХ: – средний размер пор, нм – общий объем пор, см ³ /г	14 0,058	— —
6.	Влажность, %	1	—
7.	Разрывная прочность слоя пыли, Па	39	Неслипающаяся ²
коллоидно-химические свойства			
8.	ζ-потенциал	+	—

№ п/п	Наименование показателя	Значение	Соответствие классификации
9.	Сорбционная ёмкость по методу Запорожца, мг/г	84,7	—
10.	Донорно-акцепторная способность, Q_{pka} , ммоль/г	270,3	—
11.	Краевой угол, °	36	Хорошо смачиваемая ³

Примечание: ¹ Классификация пыли по дисперсности;

² Классификация по слипаемости (характеристический показатель – разрывная прочность слоя пыли по Е.И. Андрианову);

³ Классификация пыли по смачиваемости

В связи с предполагаемой областью применения разработанной алкидной эмульсии для обеспыливания (пылящие объекты строительной, карьерной и горно-добывающей промышленности; отвалы и конусы, образованные в результате складирования и хранения сырьевых материалов, добытых полезных ископаемых, а также отходов) было необходимо количественно оценить комплекс показателей консолидированного слоя (КС), образующегося после распределения ПС. Ввиду того, что разработанная алкидная эмульсия включает в свой состав продукты лакокрасочной промышленности, а ее основным функциональным назначением является локализация ПД и образование защитного покрытия, при оценке пылеподавляющей эффективности с точки зрения защитного полимерного покрытия, целесообразно руководствоваться требованиями ГОСТ Р 51037–97 «Покрытия полимерные защитные изолирующие, локализирующие пылеподавляющие и дезактивирующие. Общие технические требования». На основании указанного нормативного документа выбраны показатели, позволяющие установить соответствие пылеподавляющего защитного полимерного покрытия, образованного разработанной эмульсией, регламентируемым требованиям (таблица 4.2). Анализ полученных значений нормируемых характеристик консолидированного слоя показал, что разработанная

алкидная эмульсия позволяет получать пылеподавляющее защитное покрытие по всем показателям соответствует требованиям, предъявляемым ГОСТ Р 51037–97, что позволяет рекомендовать ее к использованию.

Таблица 4.2 – Характеристики консолидированного слоя пылеобразующей дисперсии по ГОСТ Р 51037–97

№ п/п	Наименование показателя	Технические требования	Фактическое значение
1.	Предварительная подготовка поверхности (температура 5–30 °С, влажность до 95 %)	отсутствует	отсутствует
2.	Степень окомкования, %	> 80	93
3.	Температура поверхности нанесения, °С	–10 ... +50	+5 ... +25
4.	Время выдержки до начала эксплуатации, ч	< 24	19
5.	Устойчивость при воздействии воды, сут	> 180	198
6.	Устойчивость при температуре, °С	5–30	79
7.	Срок службы, сут	> 180	180

Однако, использование методик для определения нормируемых показателей не позволяет в полной мере изучить взаимодействие пылеподавляющего состава (ПС) с пылеобразующей дисперсией. Это связано с тем, что для оценки вышеперечисленных показателей, применяются нормируемые методики, традиционно применяемые для оценки полимерного покрытия на твердой поверхности (стекло или металлическая пластина). На наш взгляд, анализ показателе, полученных на монолитных статичных поверхностях является необходимым, но не является достаточным для оценки эффективности составов, наносимых на высокодисперсные, условно подвижные материалы.

Форсайт-анализ различных источников позволил выявить ряд контрольных параметров ПС, используемых различными научными группами для доказательства пылеподавляющей способности различных составов. В этой связи предложен ком-

плекс методов, предназначенных для работы с пылеобразующими дисперсиями, включающий определение таких параметров как: частный остаток на сите после обработки ПД эмульсией; водоустойчивость КС; краевой угол смачивания КС; структура поверхности КС; толщина КС; коэффициент запыленности.

Для сравнения эффективности разработанной эмульсии алкидной смолы с широко применяемыми видами пылеподавляющих средств, а именно – водопроводная вода (общедоступный и часто применяемый на промышленных объектах пылеподавляющий реагент) и акриловая эмульсия (промышленный образец, представленный на рынке лакокрасочной промышленности для пылеподавления), обработка ПД разработанной эмульсией производилась после ее разбавления 1:1 с водой. Вода служит «транспортом» для перемещения алкидных капель в толщу дисперсии, с понижением концентрации эмульсии перед ее нанесением, уменьшается толщина КС, но повышается толщина пропитки. Такой механизм пропитки эффективен и достаточен для обработки склонов и отвалов.

С использованием указанных трех ПС и соответствующих методик были определены показатели, указывающие на степень их эффективности.

Пылеподавление ПД может включать в себя большое количество как физических, так и химических процессов, отвечающих в основном за снижение количества мелкодисперсной составляющей пылящей поверхности. Одной из главных задач, за счет чего и происходит процесс пылеподавления, является укрупнение (склеивание) частиц дисперсии пылеподавляющим составом на полимерной основе, с высокой пленкообразующей способностью (укрывистость). Чем более клейкий полимерный компонент ПС, тем лучше происходит агломерация частиц. Количественно это можно определить путем рассева обработанной дисперсии через сита с размером отверстий 0,1–10 мм и определения частного остатка на каждом сите после обработки ПД пылеподавляющими составами. Методика определения частных остатков заключается в том, что навески модельной ПД массой 200 г (с минимальной общей массой образца по ГОСТ 12536–2014 при содержании песчаных частиц от – 100 г,

глинистых частиц от – 50 г) равномерно перемешивали с каждым видом ПС в количестве, достаточном для визуального склеивания частиц дисперсии – 7–10 % от массы смеси. После чего не допуская затвердевания ПС, обработанную ПД пропускали через сита. Результатами частного остатка после просева принято считать массу вещества на каждом сите.

Для обработанного грунта характерно отсутствие фракций с размерностью частиц менее 0,25 мм (рисунок 4.1). Наибольший интерес для оценки способности к агломерации частиц модельной дисперсии после обработки ПС представляет правая часть графика. Так, агломерация частиц водой показала самый худший результат, образование агломератов находится в диапазоне 1–5 мм, остатки на ситах составили: 1 мм – 16,7 %, 2 мм – 44,4 %, 5 мм – 31,5 %. При использовании акриловой эмульсии остатки на ситах составили: 1 мм – 15,9 %, 2 мм – 52,2 %, 5 мм – 27,1 %. При использовании алкидной эмульсии остатки на сите составили: 1 мм – 7,9 %, 2 мм – 32,9 %, 5 мм – 48,8 %, 10 мм – 10,0 %.

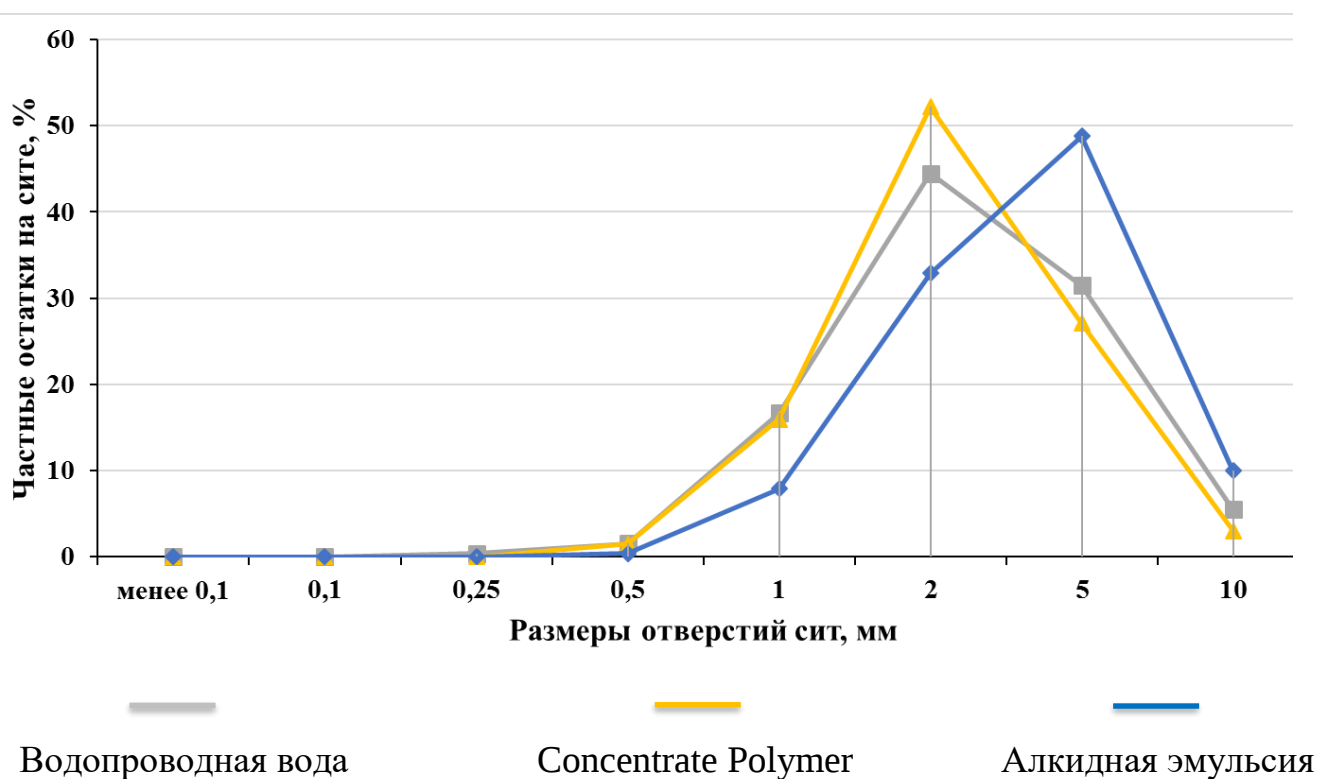


Рисунок 4.1 – Гранулометрический состав обработанной ПС модельной пылеобразующей дисперсии

Анализ полученных данных гранулометрического состава обработанной ПД различными ПС, определенного методом ситового анализа, позволяет говорить о лучшей способности к агломерации неорганической дисперсии при использовании разработанной эмульсии. Об этом свидетельствует максимальная масса крупных агрегатов на сите с размером отверстий 5 мм, тогда как при использовании воды максимальная масса агрегатов отмечается на сите 2 мм. Ее эффективность в агломерации пылящих частиц может объясняться наилучшей пленкообразующей способностью (клейкостью) полимерного компонента эмульсии – алкидной смолы, что говорит о лучшем пылеподавляющем эффекте.

Установление эффективной технологии распределения пылеподавляющих составов (что характеризуется укрывистостью ПС) по поверхности пылеобразующей дисперсии с целью образования равномерного консолидированного слоя, заключалось в визуальной оценке поверхности после нанесения ПС двумя методами. Исследование проводилось в лабораторных условиях: орошающий метод полива осуществлялся при помощи пульверизатора, капельный метод – при помощи лабораторной пипетки (пипетки Пастера).

Анализ результатов метода капельного нанесения ПС (рисунок 4.2) [152] показал, что время полного впитывания воды в толщу ПД составило 25 с, акриловой эмульсии – 1 мин 43 с, алкидной эмульсии – отсутствие впитывания. Несмотря на отсутствие впитывания алкидной эмульсии в слой ПД, не отмечалось так же и растекания состава. Таким образом, установлено, что для ПС на основе алкида применение капельного метода не целесообразно, так как он не позволяет создать покрытие способное консолидировать высокодисперсные частицы пыли.

Анализ результатов нанесения пылеподавляющих составов методом орошения (рисунок 4.3) показал, что время полного впитывания в неорганическую дисперсию: для воды – 18 с, акриловой эмульсии – 58 с, алкидной эмульсии – 36 с.

Т.е. степень укрывистости и скорость проникновения в пылеобразующую дисперсию ПС напрямую зависят от метода нанесения его на поверхность. С пози-

ции получения равномерного покрытия именно метод орошения является наиболее эффективным способом нанесения разработанной эмульсии.



а)



б)



в)



г)



д)

Рисунок 4.2 – Распределение пылеподавляющих составов на ПД капельным методом (от нанесения – а, в, д; до впитывания – б, г):
а, б – вода; в, г – акриловая эмульсия;
д – алкидная эмульсия

В исходном состоянии на образцах, обработанных разработанной эмульсией, ожидаемо наблюдается лучшая пленкообразующая способность (таблица 4.3).

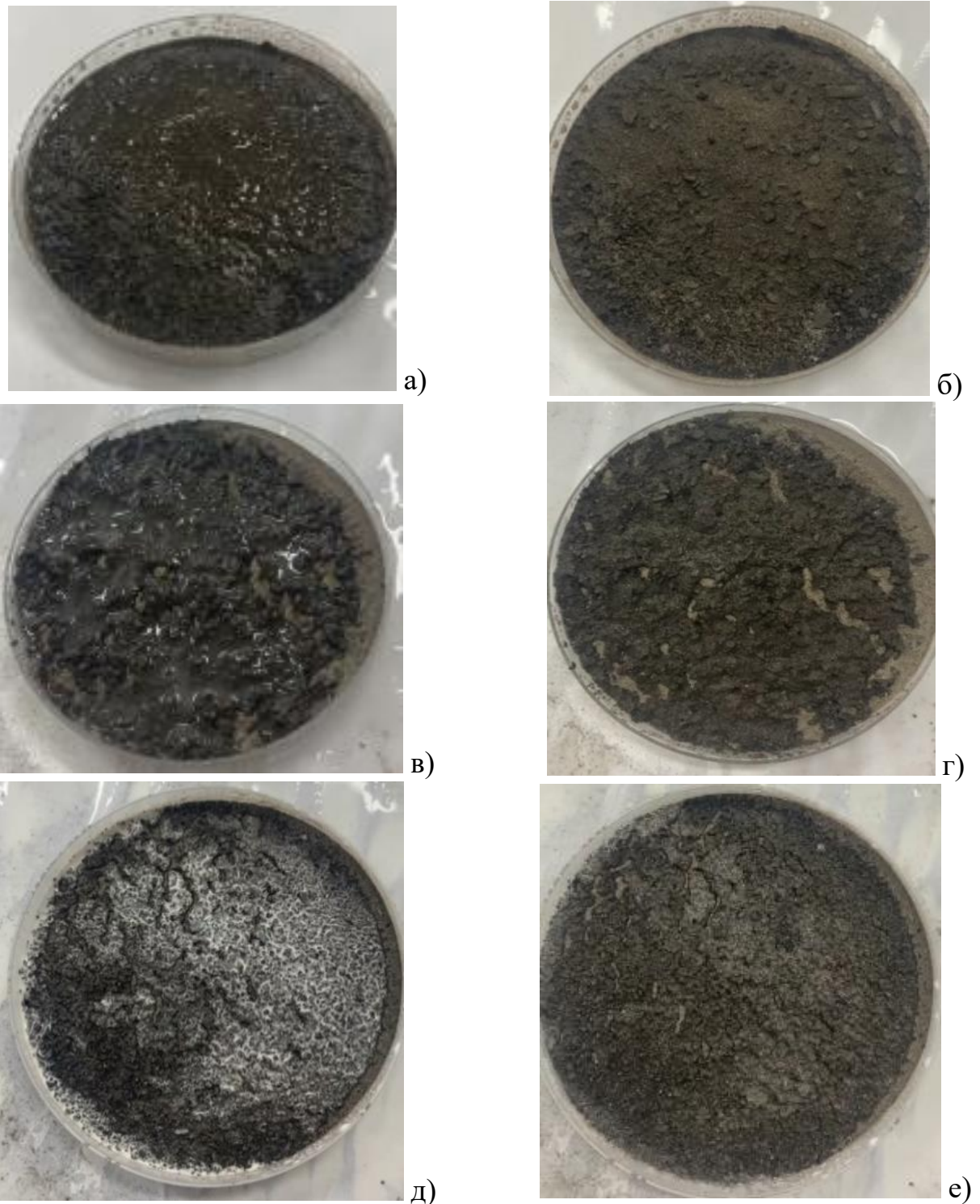
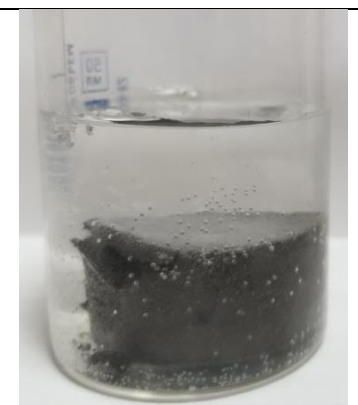


Рисунок 4.3 – Распределение пылеподавляющих составов на ПД методом распыления (от нанесения – а, в, д; до впитывания – б, г, е):
а, б – вода; в, г – акриловая эмульсия; д, е – алкидная эмульсия

Водоустойчивость консолидированного слоя оценивали визуальным методом, для чего ПД смешивалась с водой (12 % воды от общей массы смеси) формовались образцы-цилиндры, которые орошались эмульсией по всей площади поверхности.

После образования КС (полного высыхания) образцы погружались в емкость с водой, где оставались в течении 60 минут.

Таблица 4.3 – Водоустойчивость обработанной пылеобразующей дисперсии в зависимости от вида ПС

Время выдержки, мин	Образец № 1	Образец № 2	Образец № 3
Исходное состояние			
30 мин			
60 мин			

Оценка производилась по разрушению образцов в водной среде с фиксацией времени. Для анализа были взяты 3 образца: № 1 – без обработки пылеподавляю-

щим составом (ПС); № 2 – после обработки акриловой эмульсией; № 3 – после обработки алкидной эмульсией. Наблюдение продолжалось до полного разрушения образцов в воде.

Образец № 1, как и ожидалось, показал худший результат с полным разрушением через 30 мин. Образец № 2 показал частичное разрушение поверхности через 30 мин и полное разрушение – через 1 час.

Образец № 3 показал наилучший результат после 30 минут нахождения в воде, поверхность ровная, без видимого разрушения. Стоит отметить, что через 1 час на образце № 3 отмечалось разрушение стенок при сохранности формы. Таким образом, визуальная оценка обработанных образцов показала, что наилучшую выдержку в воде имеет консолидированный слой, образованный алкидной эмульсией, в связи с образованием более прочной полимерной пленки.

Структурные особенности консолидированного слоя, образованного на поверхности ПД после обработки разработанной алкидной эмульсией по сравнению с акриловой, представлены на рисунке 4.4. Несмотря на то, что в обоих случаях использовалась эмульсия на основе полимеров структура образца, обработанного акриловой эмульсией (рисунок 4.4, б), визуально не отличается от исходного образца без обработки. Вероятно, присутствие полимерной матрицы не фиксируется из-за невысокого содержания полимера, а точнее из-за низкой плёнообразующей способности или низкой вязкости эмульсии, что требует 2-х или 3-х кратной обработки поверхности. Это так же объясняет худшие показатели рассмотренных выше параметров. Сравнительная оценка структуры (рисунок 4.4, в) показала эффективность разработанной эмульсии как средства для пылеподавления с точки зрения способности образования консолидированного слоя на поверхности ПД. В структуре хорошо различаются светлые участки, равномерно распределенные по поверхности образца из смеси частиц пылеобразующей дисперсии. Кроме того, отмечается, что при использовании алкидной эмульсии из рыхлой зернистой поверхность превращается в более гладкую монолитную с толщиной КС до 200 мкм (рисунок 4.5).

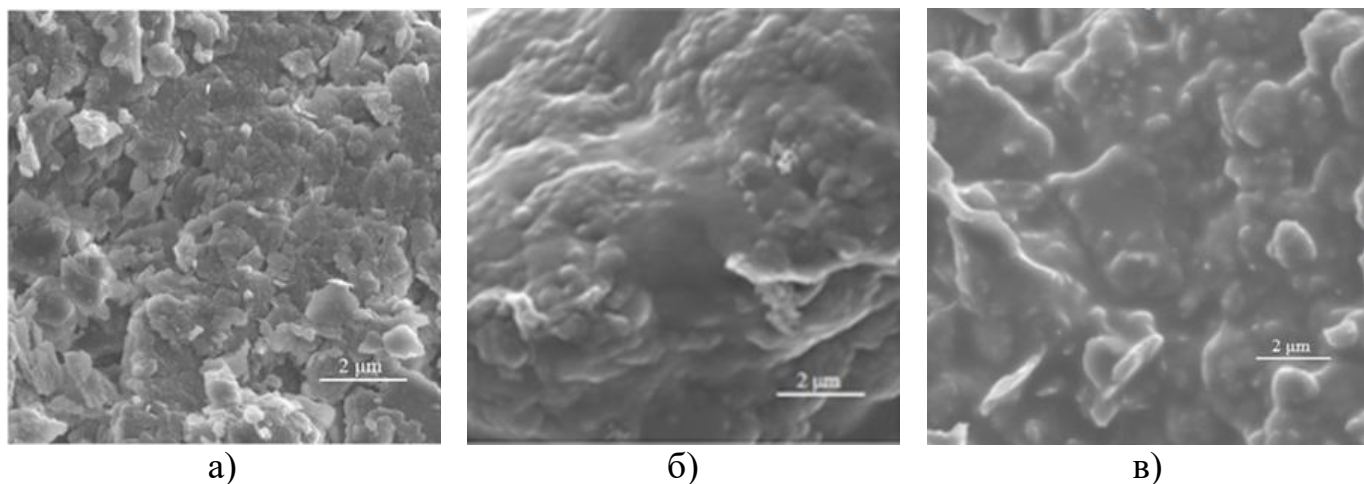


Рисунок 4.4 – Характеристика поверхности ПД после обработки ПС

а – образец без обработки (контрольный); б – образец, обработанный акриловой эмульсией; в – образец, обработанный алкидной эмульсией

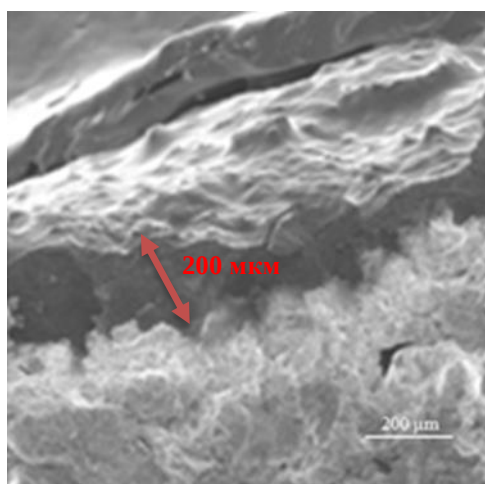
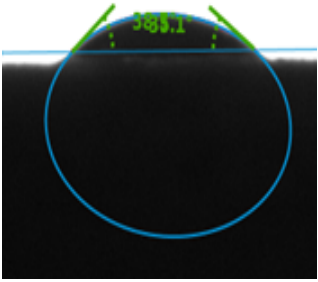
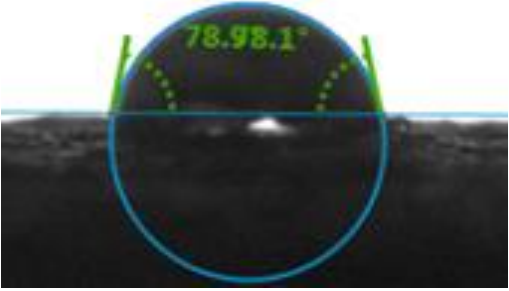
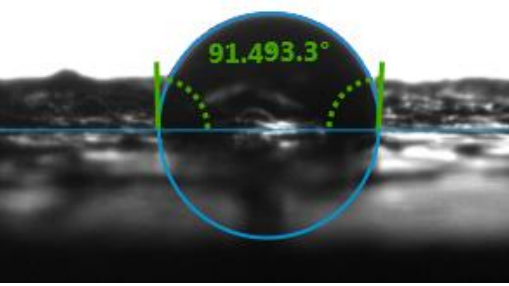


Рисунок 4.5 – Толщина КС при обработке ПД алкидной эмульсией

Изолирующую эффективность консолидированного слоя, образующегося на ПД после обработки ПС, изучали путем измерения краевого угла на границе сред «жидкое–твердое». Чем выше значения краевого угла, тем будет выше изолирующая способность консолидирующего слоя, выражающаяся в гидрофобизирующей способности алкидной эмульсии. Анализ полученных значений (таблица 4.4) показал, что, краевой угол консолидированного слоя, образованного при использовании разработанной эмульсии, в 1,5 раза выше, чем при использовании акриловой эмульсии и в 2,5 раза выше, чем у исходного (необработанного) состава.

Таблица 4.4 – Значения краевого угла консолидированного слоя

Вид ПС	Краевой угол, °	
Без обработки	38,5	
Акриловая эмульсия	78,9	
Алкидная эмульсия	92,5	

Таким образом, перечисленные и описанные методики косвенной оценки эффективности, разработанной пылеподавляющей эмульсии алкидной смолы, позволили качественно и количественно определить физико-механические, коллоидно-химические свойства и структурные особенности консолидированного слоя, образованного после обработки эмульсией пылеобразующей дисперсии. Используемый комплекс методов оценки консолидированного слоя можно рекомендовать для оценки эффективности пылеподавляющей способности эмульсий и устойчивости полученного полимерного покрытия к воздействию внешних факторов. К рекомендуемым параметрам следует отнести определение: частного остатка на сите после обработки ПД эмульсией; водостойкость КС; краевого угла смачивания КС; структуры поверхности КС; толщины КС.

4.2 Разработка оборудования и методики оценки эффективности пылеподавления в лабораторных условиях

На объектах строительного, карьерного и горнодобывающего назначения ведется большой объем работ по транспортировке грузов посредством дорожного транспорта, осуществляется складирование и хранение сырьевых материалов, добытых полезных ископаемых, а также отходов. Во всех вышеперечисленных случаях снижение уровня пыления обеспечивается путем применения специальных пылеподавляющих средств (ПС).

Для оценки пылеподавляющей эффективности (ПЭ) ПС с помощью установок, включающих в себя считывающие устройства по определению запыленности воздуха, отслеживающих пылящую поверхность и воздушную среду в пылящей зоне. Такими устройствами являются приборы для измерения запыленности воздуха – пылемеры, с помощью которых получают численные значения загрязнённости воздуха в рабочей зоне и осуществляют ранжирование частиц пыли по дисперсности. Однако использование пылемеров неудобно и не столь информативно в случае оценки эффективности ПС. Применение аэродинамической трубы – еще один вид оценки количественной эффективности ПС, они устанавливаются на объектах с высокой степенью пыления и стационарно производят исследование пылеобразующей дисперсии. Их отличительной характеристикой является возможность установления одной равномерной и прямолинейной скорости ветрового потока, что позволяет определять значения пылеобразования в воздухе. Недостатком аэродинамических труб является не только дороговизна, но и сложность в проведении лабораторных исследований многочисленных ПС и ее устройстве. Решением этих проблем является применение лабораторных установок, работающих по принципу аэродинамической трубы в сочетании с пылемером.

Таким образом, задачей исследования стала разработка портативной аэродинамической камеры с встроенным сенсором (пылемером) считывания концентрации пыли в воздухе, с помощью которой возможна оценка эффективности полимерных

составов на водной основе как пылеподавляющих средств.

Определение эффективности пылеподавления для пылеобразующей дисперсии (диапазоны с тах значениями – 0,1–10/10–100 мкм, лазерная дифракция – 70/30 %), выбранной в качестве модельной, проводилось в разработанном портативном устройстве, работающем по принципу аэродинамической трубы с системой определения запыленности воздуха (рисунок 4.6). Результат исследования отображен в публикации автора диссертационной работы [153]. Модельную дисперсию получали путем перемешивания до однородности ПД в пропорции 3/1 (обоснование приведено в гл. 3.2) с оптимальной влажностью смеси 1,05 %, удельная поверхность 5630 см²/г. В качестве пылеподавляющих составов в исследовании применялись: вода водопроводная, акриловая водная эмульсия промышленного производства «Concentrate Polymer» и разработанная эмульсия алкидной смолы на водной основе [144, 148].

Лабораторная установка для исследования эффективности пылеподавления представляет собой двухсекционную камеру. Навеску пылеобразующей дисперсии, обработанную ПС, толщиной слоя не менее 5 мм, распределенную на столике 8 (площадь 406 см²), помещают во вторую секцию установки, выполняющую роль испытательной камеры (объем камеры 5382 см³). Вторую секцию закрывают торцевой прозрачной подвижной крышкой 10 для наблюдения за объектом исследования в процессе работы установки. Моделирование запыления пространства проводят при непрерывной подаче воздушного потока в секцию 2, за счет нагнетания вентилятором 4, расположенного в секции 1, через диффузор 5, контактирующий с технологическим окном, выполненным в перегородке 3, в течение 5 минут. Моделирование запыления пространства осуществляется в том числе, благодаря, расположенному на торцевой прозрачной подвижной крышке 10, фильтру 9, создающий в секции 2 вихревые потоки. Вторая секция, выполняющая роль испытательной камеры, имеет столик 8 для испытуемых образцов и фильтр 9. Вторая секция имеет боковую прозрачную торцевую подвижную крышку 10, на стенке которой закреплен фильтр 9. Внутренняя полость второй секции сообщается посредством измерительного щупа 11 с блоком контроля 12, представляющим собой оптический пылемер (Nova

SDS011), с монохромным экраном 13. Монохромный экран 13 блока контроля 12 служит для дополнительного контроля измерения. Блок контроля 12 установлен снаружи и закреплен на второй секции. Бок контроля 12 соединен проводным каналом связи 14 с персональным компьютером (ПК) 15. Персональный компьютер 15 выполняет функцию основного передатчика численных значений измерения концентрации пыли в воздухе, от блока контроля 12, после обработки пылеобразующей дисперсии пылеподавляющим составом.

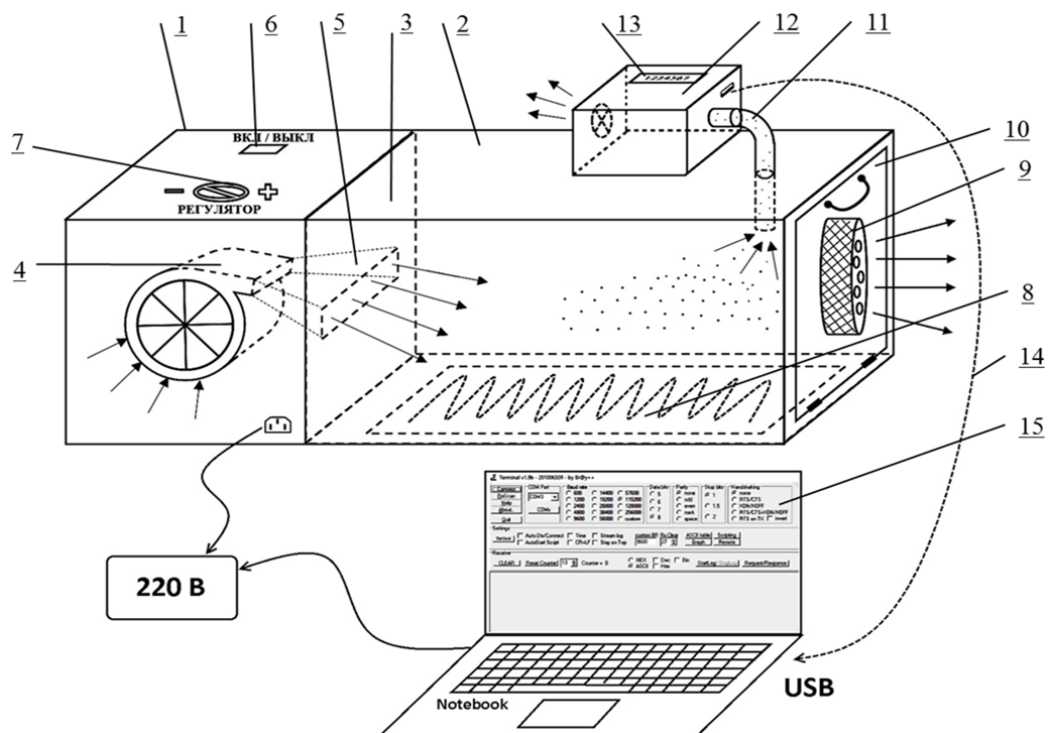


Рисунок 4.6 – Схема установки

- 1 – секция первая; 2 – вторая секция; 3 – жесткая перегородка; 4 – приточный вентилятор; 5 – диффузор; 6 – тумблер выключения и включения вентилятора; 7 – регулятор скорости ветрового потока; 8 – столлик; 9 – фильтр; 10 – крышка; 11 – измерительный щуп; 12 – блок контроля (оптический пылемер); 13 – монохромный экран блока контроля; 14 – проводной канал связи; 15 – персональный компьютер

Диапазон измерения пылемера от 0,3 до 10 мкм. Габариты прибора: 115×78×60 мм. Климатические условия, при которых производятся исследования – температура 20–25 °С, влажность до 50 %. Измерение производилось в герметичной испытательной камере при скорости воздушного потока 6 м/с (скорость ветрового

потока, при котором активно происходит процесс эрозии почвы – взметывание мелко и средне дисперсной пыли с поверхности пылеобразующей дисперсии составляет до 10 м/с [154–156]). Во избежание рисков получения недостоверных результатов концентрации пыли, зависящих от скорости ветрового потока, создаваемого в камере, был установленный внутри датчик измерения пыли в центральном положении, на выходе из исследуемой камеры. Датчик фиксировал концентрацию ее содержания в воздухе, отчет о размерности пыли (в мкг/м^3) выводился на табло датчика с одновременным отображением на мониторе ПК после выключения вентилятора. Результаты исследования являются измерения, проводимые по двум градациям размерности частиц (по РД 52.04.830–2015 [157]): РМ2.5 – диапазон от 0,3 до 2,5 мкм и РМ10 – диапазон от 2,5 до 10 мкм .

Значения предельно допустимой концентрации (ПДК) для неорганической пыли в воздухе рабочей зоны с указанием класса опасности, указанные в Постановление от 30.12.2022 об утверждении санитарных правил и норм СанПин 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [158]. Пыль неорганическая (шамот, цемент, пыль цементного производства – *глина*, глинистый сланец, доменный шлак, *песок*, клинкер, зола кремнезем и другие), содержащая двуокись кремния 20–70 %: класс опасности – 3; ПДК максимальная разовая концентрация, предотвращающая раздражающее действие, рефлекторные реакции, запахи при воздействии до 20–30 мин) – 0,3 мг/м^3 .

Сущность предлагаемого метода заключается в определении концентрации частиц пыли в воздушной зоне камеры при равномерной, постоянной и регулируемой скорости ветрового потока.

Измерение концентрации пыли в воздухе камеры производилось поочередно для необработанной пылеобразующей дисперсии, после ее обработки «Concentrate Polymer» и синтезированной алкидной эмульсией в течении 5 минут.

Первое измерение концентрации пыли в воздухе производилось без ПС. После получения значения концентрация пыли без обработки пылеобразующей дисперсии,

методом распыления на новый образец модельной дисперсии наносили поочередно 3 вида ПС в количестве: воды – 27 мл, акриловой дисперсии – 88 мл, алкидной эмульсии – 31 мл, что составляет 0,52; 2,16 и 0,75 л/м² – расход ПС (таблица 4.5). Разность количественного значения нанесенных ПС объясняется разницей их покрывной способности одинаковой площади модельной пылеобразующей дисперсии. Измерение запыленности воздуха в воздушной среде аэродинамической камеры после обработки модели пылеобразующей дисперсии производили спустя 1 час после нанесения каждого вида ПС. Коэффициент запыленности воздушной зоны аэродинамической камеры без обработки и после обработки тремя видами пылеподавляющих составов оценивали путем нахождения среднего арифметического значения концентрации пыли за 5 минутный промежуток воздействия ветрового потока на модельную пылеобразующую дисперсию.

Анализ проводился по следующей траектории. Для замера через указанный промежуток времени после нанесения слоя пылеподавляющего средства, с соблюдением количественных значений модельной дисперсии и ПС, временного интервала включения воздушного потока и технологии нанесения продукта на поверхность пылеобразующей дисперсии. Данный вариант оценки позволяет выявить и количественно определить эффективность пылеподавления ПС спустя 1 час после нанесения его на пылеобразующую дисперсию. Это позволяет не только оценить качество сформированной полимерной пленки на поверхности пылящей модельной системы, но и получить численное значение концентрации пыли в воздухе, что может свидетельствовать о способности к агломерации частиц пыли ПС.

Для определения устойчивости ПС к ветровой эрозии применяли самостоятельно изготовленную установку по определению эффективности пылеподавления эмульсии, рассчитываемого как соотношение двух значений концентрации пыли: концентрация пыли в воздухе под воздействием ветрового потока на модельную пылеобразующую дисперсию после обработки ПС к концентрации пыли под воздействием ветрового потока на модельную дисперсию без обработки ПС:

$$K_{3П} = \frac{C_{ГПС}}{C_{Г}},$$

где $K_{зп}$ – коэффициент запыленности; $C_{гпс}$ – концентрация пыли в воздухе после воздействия ветрового потока на модельную пылеобразующую дисперсию, обработанный ПС, $мг/м^3$; $C_г$ – концентрация пыли в воздухе после воздействия ветрового потока, на модельную пылеобразующую дисперсию без обработки ПС, $мг/м^3$.

Согласно известным механизмам действия пылеподавляющих составов, обобщенных в работе авторов, минимизация пыления происходит при образовании на пылящей поверхности полимерной пленки, препятствующей пылению, в случае применения составов на органической основе (эмульсии, пены), либо образования более крупных агрегатов за счет связывания компонентами растворов пылевых частиц между собой. В результате процессов, протекающих на поверхности или в объеме пылящей дисперсии при его взаимодействии с пылеподавляющим составом, значение коэффициента запыленности может варьироваться от 1 до 0. При этом минимальное значение коэффициента соответствует наиболее эффективному составу, максимальное – наименее эффективному составу.

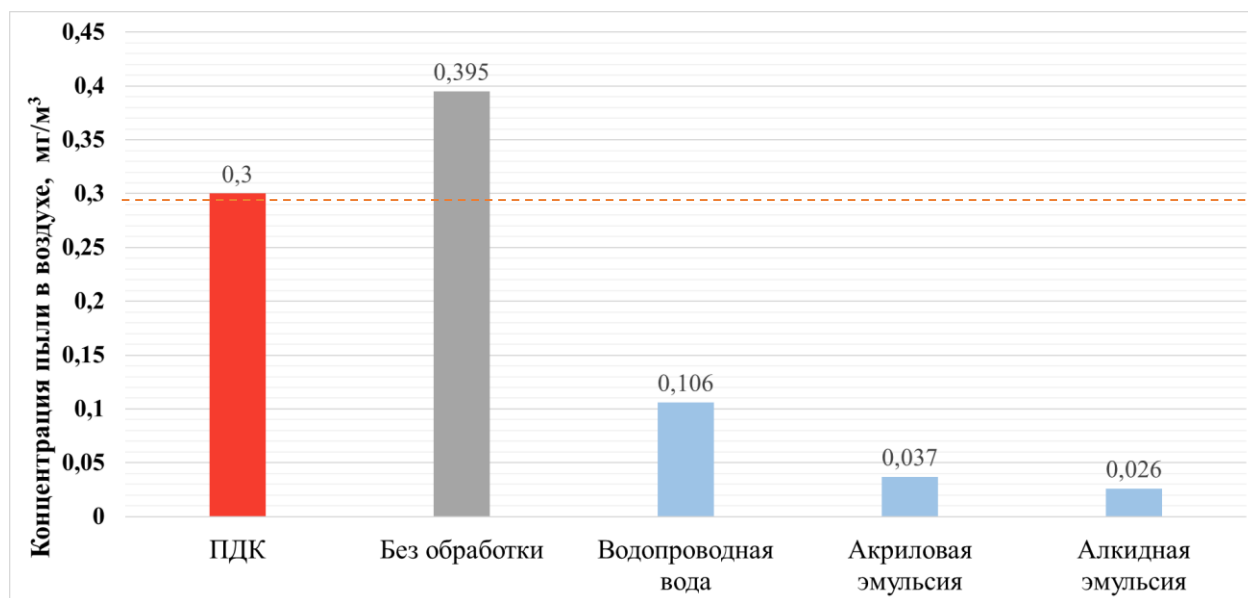
Согласно полученным данным, представленным в таблице 4.6, оценка воздушной среды после воздействия ветрового потока на дисперсию без обработки ПС – $0,4 \text{ мг/м}^3$, это значение превышает ПДК, указанного в нормативном документе (ПДК неорганической пыли $<0,3 \text{ мг/м}^3$), что говорит о превышении нормы и необходимости снижения пылеобразования. При обработке модельной неорганической пылеобразующей дисперсии в зависимости от применяемого пылеподавляющего средства концентрация частиц размерностью от 0,3 до 2,5 мкм (PM2.5) и от 2,5 до 10 мкм (PM10) в воздухе составила: при обработке водопроводной водой – 20,21 и 86,2 $мкг/м^3$, акриловой дисперсией – 11,66 и 25,73 $мкг/м^3$, алкидной эмульсией – 9,52 и 16,98 $мкг/м^3$, соответственно. Для определения общей концентрации пыли после обработки дисперсии данные, описанные выше, сложили для полной оценки и сравнения эффективности всех трех видов ПС (таблица 4.5, рисунок 4.7). Коэффициент запыленности воздушной зоны в аэродинамической камере после обработки поверхности модельной пылеобразующей дисперсии каждым из трех ПС составляет для: воды – 0,269, акриловой дисперсии – 0,095, алкидной эмульсии – 0,066.

Таблица 4.5 – Изменение концентрации пыли в воздухе и коэффициент запыленности в зависимости от вида ПС после 5-минутного воздействия ветрового потока со скоростью 6 м/с

Вид обработки	Расход ПС, л/м ²	С _{гпс} , мкг/м ³		ПДК неорганической пыли ¹ , мг/м ³	С _{гпс} ² , мг/м ³	К _{зп}
		PM2.5	PM10			
Без обработки	–	33,54	361,67	< 0,3	0,395	–
Водопроводная вода	0,65	20,21	86,2		0,106	0,269
Акриловая эмульсия	1,08	11,66	25,73		0,037	0,095
Алкидная эмульсия	0,75	9,52	16,98		0,026	0,066

¹ САНПИН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

² Суммарная концентрация частиц размерностью PM2.5 и PM10 в модельной неорганической пылеобразующей дисперсии



--- Предельно допустимая концентрация, мг/м³ (САНПИН 1.2.3685-21)

Рисунок 4.7 – Зависимость концентрации пыли в воздушной зоне портативного устройства от применяемого ПС

Таким образом, концентрация пыли в воздухе не превышает ПДК, установ-

ленные в документе САНПИН при обработке всеми тремя видами ПС. Оценка коэффициента запыленности показала наибольшую эффективность у разработанной эмульсии: по сравнению с акриловой эффективность в 1,5 раза выше, а по сравнению с водой – в 4 раза. Высокая пылеподавляющая эффективность разработанной алкидной эмульсии при обработке пылеобразующей дисперсии, можно объяснить созданием плотного равномерного алкидного слоя на ее поверхности, способствующего слипанию высокодисперсных частиц без возможности пыления и сохранению защитных свойств образованного полимерного покрытия.

4.3 Феноменологическая модель процесса консолидации пылеобразующей дисперсии при взаимодействии с эмульсией

Основываясь на результатах проделанного цикла исследований, с учетом фундаментальных положений концепции самоорганизации полимерных пленок, коллоидно-химических аспектов и литературного обзора взаимодействий в системе полимерных эмульсий представлена феноменологическая модель процессов структурообразования полимерной дисперсии пылеподавляющего алкидного покрытия на основе водной алкидной эмульсии (рисунок 4.8).

Для определения структуры алкидной пленки на поверхности дисперсного пылящего участка, необходимо более детально остановиться на теоретическом материале, описывающем полимеризацию материалов лакокрасочной промышленности, и сопоставить ее с экспериментальными наработками. Стандартный метод высыхания ЛКМ описывается в несколько стадий пленкообразования: после нанесения, содержащаяся в составе ЛКМ вода, испаряется, частицы полимера взаимодействуя друг с другом образуют гель; в последствии после высыхания разрушается и деформируется адсорбционно-гидратная оболочка на поверхности; завершающей стадией является проникновение через границы частиц и формирование сплошной полимерной пленки на поверхности.

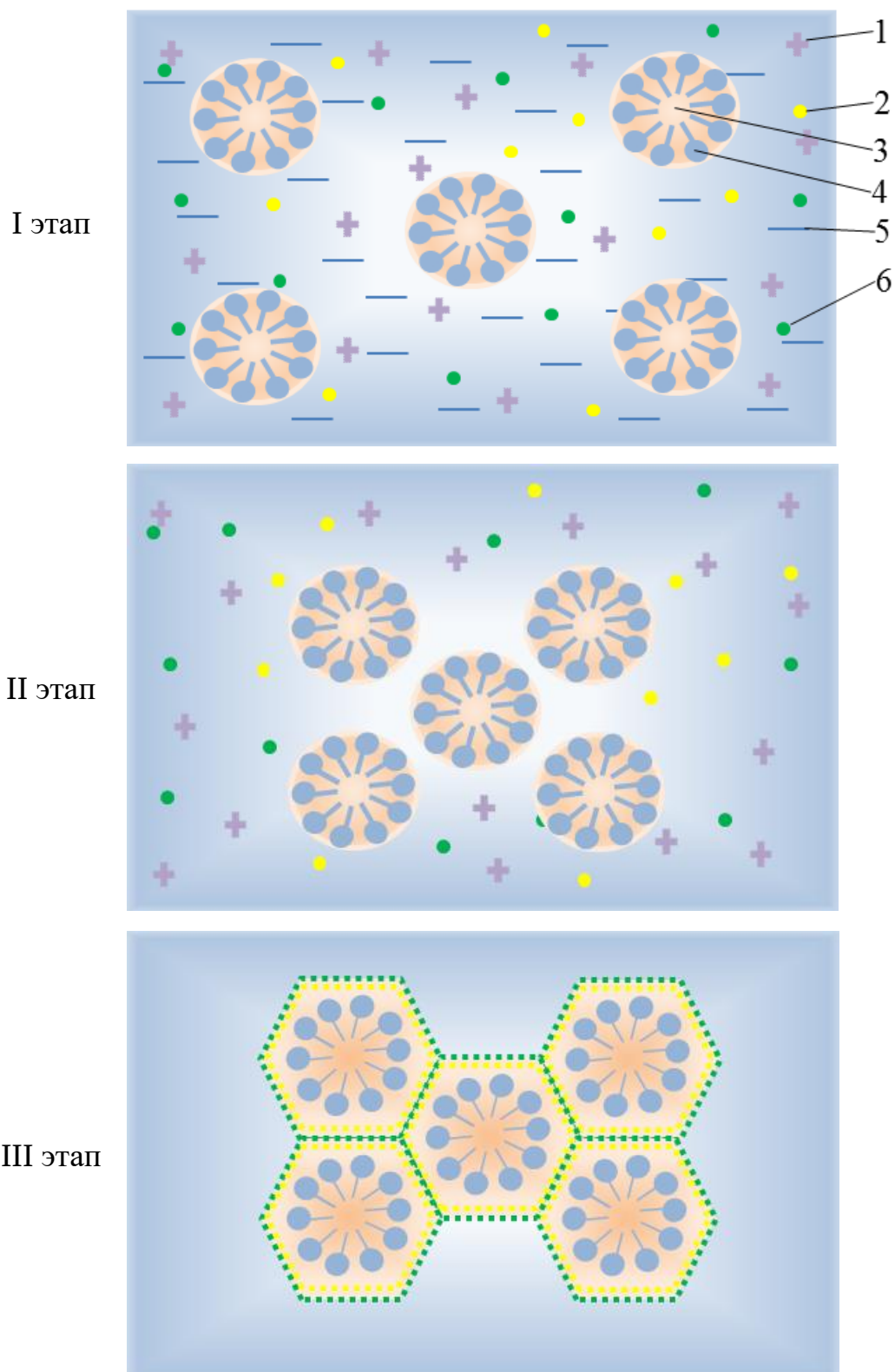


Рисунок 4.8 – Феноменологическая модель структурообразования алкидной пылеподавляющей эмульсии

1 – этиленгликоль; 2 – сиккатив Zr; 3 – алкидная смола; 4 – АМР;
5 – дисперсионная среда; 6 – сиккатив Со

Процесс пленкообразования алкидного водного покрытия на поверхности пылеобразующей дисперсии состоит из следующих этапов структурообразования. Начальный этап заключается в испарении дисперсионной среды алкидной эмульсии, с дальнейшим ее высыханием.

Далее, капли дисперсии, стремящиеся к друг другу, формируют некую сферическую конфигурацию (рисунок 4.8, I этап). На II этапе происходит процесс консолидации частиц пыли за счет твердения эмульсии, происходящего после испарения воды. Этиленгликоль оказывает пластифицирующее действие на оболочку ПАВ (АМР) с дальнейшим его испарением. Сиккатирующие компоненты (сиккативы Со и Zr) действуют на алкидную смолу, полимеризуя его как на поверхности, так и в объеме (рисунок 4.8, II этап). Заключительным этапом в пленкообразовании алкидной эмульсии является размягчение стенок капли эмульсии, в следствии чего, происходит вытекание алкидной смолы и распространение ее по поверхностному слою пылящей дисперсии (рисунок 4.8, III этап).

Модель пленкообразования на поверхности ПД отображена на рисунке 4.9. Начальным этапом является распыление водной алкидной дисперсии на поверхность дисперсии, на котором происходит захват частиц пыли из воздуха (при ее наличии в воздушной среде) и осаждение их на поверхность (*I этап*). Дальнейшее формирование полимерного покрытия, а, именно, одновременное впитывание и испарение дисперсионной среды, сближение элементов дисперсной фазы и стремление формирования более или менее правильной укладки сферических групп, происходит формирование стабилизированного слоя (*II этап*). На конечном этапе происходит заключительное отверждение алкидного покрытия. Благодаря размягченной оболочке (в следствии испарения этиленгликоля) происходит выход с дальнейшим распределением алкидной смолы по всей поверхности пылящей дисперсии. Это обеспечивает прочное покрытие, состоящее из склеенных смолой между собой частиц пыли – образование агломератов консолидированных между собой частиц пылеобразующей дисперсии (*III этап*).

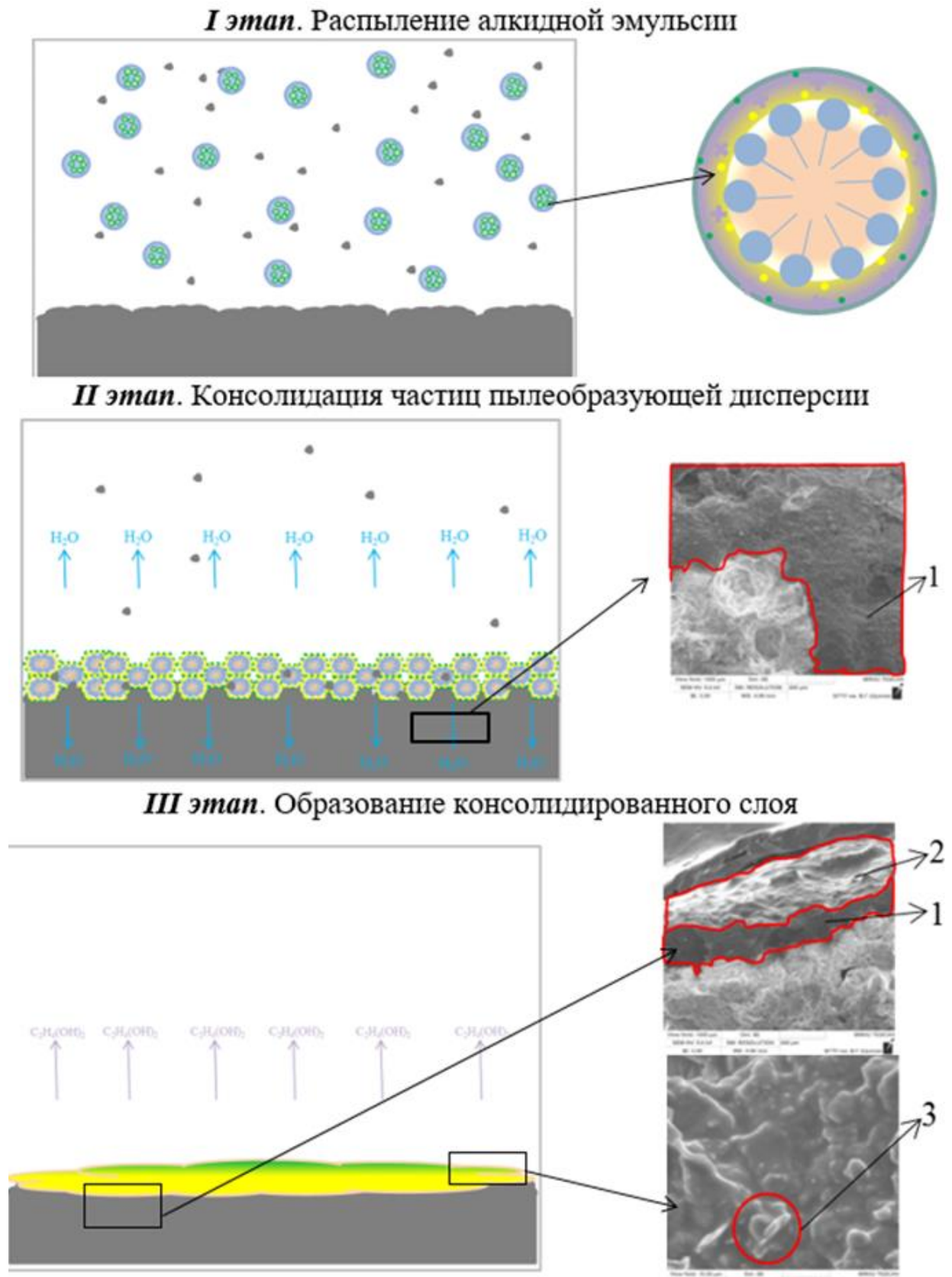


Рисунок 4.9 – Феноменологическая модель структурообразования пылеподавляющей алкидной пленки

1 – консолидированный слой; 2 – стабилизированный слой;

3 – агрегаты консолидированных частиц пылеобразующей дисперсии

Таким образом, теоретически обоснована и экспериментально подтверждена предложенная модель формирования пылеподавляющего консолидированного слоя, состоящего из полимерной пленки, образованной после полимеризации эмульсии алкидного олигомера. Совместно с коалесцирующими и сиккатирующими эмульсия алкидной смолы образует полимерную пленку, способную консолидировать частицы пыли на поверхности ПД.

4.4 Технология производства алкидной эмульсии

В рамках диссертационной работы была разработана технологическая схема производства пылеподавляющих алкидных эмульсий, представленная на рисунке 4.10, на основании оптимально подобранной рецептуры и способа приготовления.

На первоначальной стадии алкидная смола из расходной емкости 1 с помощью пневматического насоса 16 подается в диссольтвер 9, размещенный на тензодатчиках. Внутри диссольтвера 9 расположен эксцентрически упорядоченный зубчатый диск – фреза. После подачи алкида включается фреза при 1900–2000 оборотах в минуту. ПАВ – АМР-95 из емкости 2 в диссольтвер 6 поступает после формирования центра симметрии в центре фрезы, требуемый объем поверхностно-активного вещества дозируется насосом через систему мерников 7. После загрузки в диссольтвер 9 всех необходимых сырьевых компонентов происходит смешение двухкомпонентного раствора (ПАВ + Алкид) при температуре перемешивания 20–25 °С в течении 10 минут. Для поддержания постоянной температуры во время смешения использование диссольтвера 6 предусматривает параллельную установку двух термостатов, подключенных к боковым стенкам (11) и дну диссольтвера (12).

На следующей стадии из расходной емкости 6 вода поступает в диссольтвер 10, который по аналогии с диссольтвером 9, стоит на тензодатчиках, а также для смешивания имеет эксцентрически упорядоченный зубчатый диск – фрезу. Объем воды, необходимой для приготовления эмульсии, дозируется по весу с учетом заданной рецептуры, подача воды происходит с помощью пневматического насоса 17. Поли-

мерный раствор вливают в воду постепенно из диссольтера 9 через насос с расходомером 15 в диссольтер 10. Для формирования сплошной пленки и равномерного нанесения в состав полимерной эмульсии вводят коалесцент, в качестве которого выступает этиленгликоль, требуемое количество которого поступает в диссольтер 10, из расходной емкости 3, через систему мерников 8.

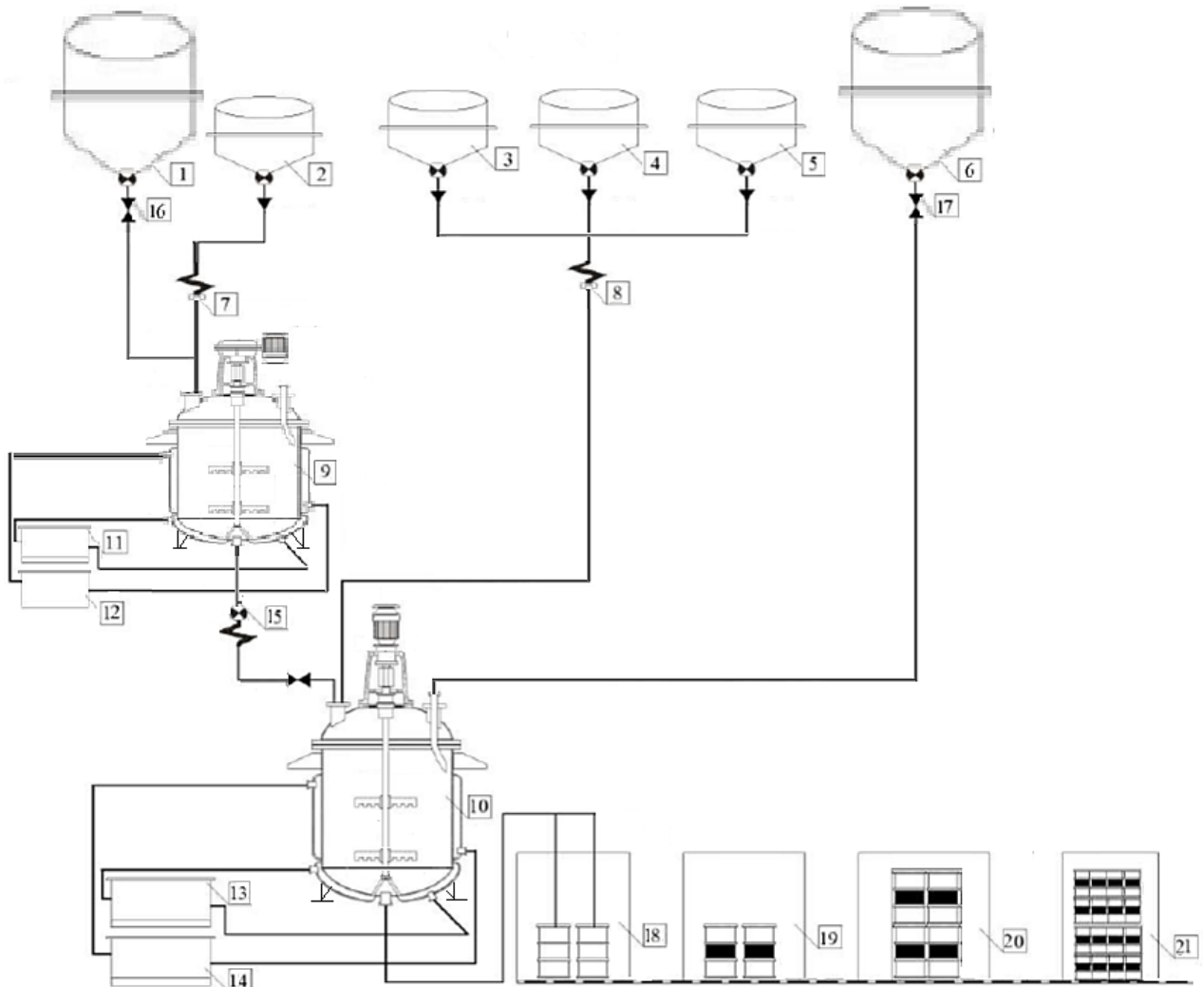


Рисунок 4.10 – Технологическая схема производства

пылеподавляющих алкидных эмульсий:

1 – расходная емкость с алкидной смолой, 2 – емкость с АРМ-95; 3 – емкость с этиленгликолем; 4 – емкость с сиккативом Со; 5 – емкость с сиккативом Zr; 6 – емкость с водой; 7–8 – насосы системы мерников; 9 – диссольтер для синтеза двухкомпонентного раствора, 10 – диссольтер для получения алкидной эмульсии, 11–14 – термостаты, 15 – насос с расходомером, 16–17 – пневматические насосы; 18 – тарирование готовой продукции; 19 – этикетировка, 20 – упаковка готовой продукции в тару; 21 – перевод готовой продукции на склад

Технологией приготовления пылеподавляющей эмульсии предусмотрено смешение сырьевых компонентов с постепенным набором скорости смешения до 10000 оборотов в минуту при температуре 35 °С. Выбранная температура необходима для повышения агрегативной устойчивости и равномерного распределения капель дисперсной фазы в дисперсной среде.

Данный факт связан с отделением связанной воды на каплях алкида, вызывая сильное трение и, следовательно, высокую вязкость. Для поддержания постоянной температуры смешения в технологической схеме предусмотрены два термостата 13, 14, схема расположения которых аналогична термостатам на диссольтвере 9, один из которых подключен к боковым стенкам диссольтвера, а другой – к его дну. После введения вышеназванных компонентов в диссольтвере 10 в течение 30 минут проводят эмульгирование при постоянной температуре – 35 °С и скорости смешения – 10000 оборотов в минуту.

Далее согласно технологической схеме производства для обеспечения формирования алкидной пленки требуемых физико-механических показателей в состав эмульсии вводят сиккативы. Первичный сиккатив – сиккатив Со – поступает в диссольтвер 10 из расходной емкости 4, вторичный сиккатив – сиккатив Zr – поступает из расходной емкости 5, дозирование происходит через систему мерников 8. После введения сиккативов продолжают смешение без изменения скорости и температуры в течение 5 минут. Таким образом, общее время приготовления пылеподавляющей эмульсии составляет 65–70 минут.

Готовая эмульсия из диссольтвера 10 разливается в готовую тару (18) и проходит стадию этикетировки (19). На стадии 20 эмульсия проходит упаковку, откуда готовая продукция транспортируется на склад 21.

Для апробации и внедрения результатов работы разработан технологический регламент на производство пылеподавляющей эмульсии алкидного олигомера на водной основе (приложение Г).

Апробация разработанной технологии промышленного синтеза была проведе-

на предприятии ООО Завод «Краски КВИЛ» (г. Белгород) при выпуске опытной партии пылеподавляющей эмульсии алкидного олигомера на водной основе, изготовленных на действующей технологической линии (приложение Д). На основании проведенных испытаний подписан протокол о намерениях по производству пылеподавляющей эмульсии по разработанному регламенту при наличии заказа на продукцию (приложение Е).

Теоретические положения, результаты экспериментальных исследований и промышленной апробации, полученные при выполнении диссертационной работы, используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 18.03.01 «Химическая технология», 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», магистров по направлению 28.04.03 «Нanomатериалы», что отражено в рабочих программах дисциплин «Коллоидная химия», «Физическая и коллоидная химии», «Общая технология наносистем и наноматериалов» и «Современные модификаторы компози-тов различного назначения и состава» (приложение Ж).

Таким образом, в соответствии с проведенными исследования была разработана технологическая схема производства пылеподавляющей алкидной эмульсии, предусматривающая полный цикл работ от подготовки сырьевых компонентов до перевода готовой продукции на склад.

4.5 Технико-экономическое обоснование эффективности производства алкидной эмульсии

В результате проведенных в рамках данной диссертационной работы исследований доказана эффективность внедрения пылеподавляющих эмульсий для обеспыливания на объектах строительного, карьерного и горнодобывающего назначения при транспортировке грузов посредством дорожного транспорта, складировании и хранении сырьевых материалов, добытых полезных ископаемых, а также отходов.

Технико-экономическая эффективность разработанного материала обусловлена снижением эксплуатационных затрат за счет создания консолидированного слоя,

задерживающего пыль и работающего не только как барьер для частиц пылеобразующей дисперсии, но и позволяющего самовосстанавливаться в процессе незначительного разрушения.

Для обоснования экономической эффективности использования пылеподавляющей эмульсии на основе алкида с учетом введения неионогенного эмульгатора (АМР-95) и модифицирующих дисперсную фазу эмульсии коалесцирующего и сиккатирующих компонентов соответственно – этиленгликоля и сиккативов кобальта и циркония была составлена нормативная калькуляция на производство пылеподавляющей эмульсии.

В качестве места производства эмульсии был выбран завод, расположенный в городе Белгород. Все составляющие расчета также были учтены с учетом стоимостных показателей, корректных для данного региона. Расчет производился с учетом оптимального объема выпуска, составляющего 3 тонны, то есть максимальной загрузки диссольвера, предусмотренного технологической схемой производства пылеподавляющей эмульсии (глава 4.4).

Основными составляющими стоимости производства пылеподавляющей эмульсии являются трудозатраты, затраты на эксплуатацию машин и механизмов, а также на покупку сырьевых компонентов конечного продукта. Также компонентами калькуляционных затрат, относимыми на стоимость конечного продукта, являются накладные расходы и рентабельность.

Затраты труда, учтенные в нормативной калькуляции, состоят из трудозатрат рабочих, ответственных за производство данного продукта, и трудозатрат рабочих, ответственных за фасовку алкидной эмульсии в тару. Для работы на производстве необходимо два человека, такое же количество людей следует предусматривать для фасовки эмульсии.

Согласно технологической схеме производства время приготовления готового продукта составляет 65 минут, в том числе время, необходимое для подачи компонентов из расходных емкостей в диссольвер составляет 20 минут и время смешивания составляет 45 минут, время фасовки составляет 60 минут. Соответственно требуемое количество человеко-часов учтено в калькуляции. Дополнительно для покрытия затрат на страховые взносы, оплачиваемые с заработной платы каждого

сотрудника, необходимо в калькуляции предусмотреть данную статью в размере 30,2 % от фонда оплаты труда работников.

Заработная платы целой смены работников в количество четырех человек (двое – производство, двое – фасовка) составляет 8 000 рублей, соответственно, стоимость человеко-часа одного рабочего составляет 8 000 рублей / 4 человека / 8 часов = 250 руб/чел×ч.

Стоимость эксплуатации машин и механизмов, относимая на стоимость алкидной эмульсии, состоит из затрат на электроэнергию для работы установки по производству эмульсии (диссольвера), а также амортизационных затрат.

Энергопотребление используемой для производства эмульсии установки составляет 40 кВт/час, а стоимость 1 кВт электроэнергии для промышленных предприятий составляет 6 руб/кВт. Соответственно, стоимость затрат на электроэнергию, относимая на стоимость 1 маш/часа установки, составляет 40 кВт/час×6 руб/кВт = 240 руб/час.

Расчет амортизационных затрат производился на основании стоимости приобретения установки и срока её службы. Амортизационные затраты равномерно распределяются на весь период эксплуатации установки, поэтому их величина, относимая на стоимость 1 маш/часа, рассчитывается следующим образом. Стоимость установки составляет – 1 800 000 рублей, срок службы – 10 лет. Рабочее время при 40-часовой неделе в 2023 году – 1973 часа. Соответственно, стоимость затрат на амортизационные затраты, относимые на стоимость 1 маш/часа установки, составляет 1 800 000 рублей / 10 лет / 1973 часов = 91,23 руб/час.

Стоимость затрат на приобретение сырьевых компонентов рассчитывается исходя из оптимально подобранного состава, разработанного в рамках написания диссертационной работы: алкид – 56,1 масс.%, вода – 37,5 масс.%, ПАВ АМР-95 – 0,3 масс.%, этиленгликоль – 6 масс.%, сиккатив кобальта 12 % – 0,034 масс.%, сиккатив циркония 18% – 0,06 масс.%.

Стоимость тонны всех составляющих учтена на основании закупочных цен по состоянию на апрель 2023 года. В стоимостные показатели включены как отпускная стоимость самого материала, так и стоимость доставки сырьевого компонента до завода в городе Белгород. Так, стоимость алкида составляет 78 руб/кг, стоимость воды

– 23,54 руб/м³ (аналогичная стоимость будет и за 1 тонну, в связи с тем, что плотность воды составляет 1000 кг/м³), стоимость ПАВ (АМР-95) – 538,4 руб/кг, стоимость этиленгликоля – 82,29 руб/кг, стоимость сиккатива кобальта 12 % – 662,55 руб/кг, а стоимость сиккатива циркония 18 % составляет 548,68 руб/кг.

Итоговая стоимость сырьевых материалов рассчитывалась на объем выпуска в объеме 3 тонны, в расчете также были учтены складские расходы, принятые в количестве 2 % от общей стоимости затрат на приобретение материалов.

Нормативная калькуляция приведена в таблица 4.6. Из расчета следует, что прямые затраты на приготовление 3 тонн эмульсии, производимой в течение одного производственного цикла, составляют 157 378,32 руб, при пересчете на 1 кг конечного продукта – 52,46 руб/кг.

Таблица 4.6 – Нормативная калькуляция на производство пылеподавляющей алкидной эмульсии

№ п/п	Наименование элемента затрат	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед. измерения, руб.	Общая стоимость, руб.	Комментарий
Затраты труда						
1	Заработная плата – производство	чел/ч	2,17	250,00	542,50	2 человека – производство
	Заработная плата – фасовка	чел/ч	2	250,00	500,00	2 человека – фасовка
2	Страховые взносы 30,2 %				314,84	
	Итого				1357,34	зарплата 2 000 руб / чел*смена, смена = 8 часов; время смешивания – 65 мин, время на подачу всех компонентов в производственный процесс - 20 мин, время фасовки – 60 мин
Машины и механизмы						
1	Затраты на электро-энергию для работы установки	маш/ч	0,75	240	180,00	энергопотребление 40 кВт/час, стоимость 1 кВт – 6 руб.

№ п/п	Наименование элемента затрат	Единица измерения	Кол-во	Цена за ед. измерения, руб.	Общая стоимость, руб.	Комментарий	
2	Амортизация установки по производству	маш/ч	0,75	91,23	68,42	1 800 000 руб / срок службы – 10 лет	
Итого					248,42	рабочее время при 40- часовой рабочей неделе в 2023 году – 1973 ч	
Материалы (без НДС)						содержание в 100 %	стоимость, руб
1	Алкид	т	1,683	78000	131274,00	56,10 %	78 руб/кг
2	Вода	т	1,125	23,54	26,48	37,50 %	23,54 руб/м ³ , м ³ =т
3	ПАВ АМР-95	т	0,009	538400	4845,60	0,30 %	538,4 руб/кг
4	Этиленгликоль	т	0,180	82290	14812,20	6,00 %	82,29 руб/кг
5	Сиккатив Со 12 %	т	0,001	662550	662,55	0,034 %	662,55 руб/кг
6	Сиккатив Zg 18 %	т	0,002	548680	1097,36	0,066 %	548,68 руб/кг
Итого					152718,19	100,0 %	
Складские расходы 2%					3054,36		
Итого затраты на приобретение материалов со складскими расходами, руб.					155772,56		
Итого затраты на приготовление 3 т					157378,32		
Итого затраты на приготовление 1 кг					52,46		
Накладные расходы 4%					2,1		
Итого себестоимость, руб.					54,56		
Рентабельность 20 %					10,91		
Всего стоимость за 1 кг с НДС 20 %, руб.					65,47		

Однако дополнительно следует учесть накладные расходы в размере 4 %, т.е. 2,1 руб/кг и рентабельность в размере 20 % от суммы прямых затрат и накладных расходов. Следовательно, окончательная стоимость 1 кг алкидной эмульсии будет составлять 65,47 руб за 1 килограмм.

В рамках работы была определена плотность разработанного продукта, равная 1000 кг/м³, соответственно, удобней будет выразить стоимость жидкого продукта в литрах, и она будет составлять 65,47 руб. за 1 литр.

Для оценки экономической эффективности данного продукта следует произ-

вести сравнение его с аналогами, уже закрепившимися на рынке пылеподавляющих продуктов. В качестве аналога была принята полимерная эмульсия для пылеподавления производства ООО «СК Дельта», зарегистрированной в городе Санкт-Петербург.

На сайте производителя указано, что эмульсия марки Concentrate Polymer является эффективным продуктом для подавления пыли. Продукт имеет широкий диапазон целевого применения от обеспыливания и устройства дорог, площадок, закрепления откосов земляного полотна и складов сыпучих материалов до устройства гидроизоляции дна водоёмов.

Для оценки специфики нанесения различных материалов, в том числе разработанного в рамках диссертационной работы эмульсионного продукта, была технологически опробована эффективность нанесения пылеподавляющих материалов на пылеобразующую дисперсию при прочих равных условиях. Данный показатель важен для расчета количества наносимого продукта, а соответственно, понесенных производством затрат.

При проведении эксперимента было выявлено, что для устранения пылеобразования необходимо $0,65 \text{ л/м}^2$ воды, $0,75 \text{ л/м}^2$ разработанного продукта, разведенного в соотношении 1:1, и $1,08 \text{ л/м}^2$ эмульсии марки Concentrate Polymer, принятой в качестве аналога. Таким образом, расход акриловой эмульсии марки Concentrate Polymer выше алкидной, разработанной в данной работе почти в 3,5 раз. Учитывая, что стоимость эмульсии марки Concentrate Polymer составляет 485,00 рублей за один литр, а также показатели расхода, полученные экспериментальным путем, можно говорить о значительном превышении стоимостных показателей известных аналогов над стоимостными показателями разработанного эмульсионного продукта на основе алкида.

Таким образом, доказана экономическая эффективность применения алкидной эмульсии, связанная со снижением эксплуатационных затрат за счет создания консолидированного слоя, задерживающего пыль и работающего как барьер для частиц пылеобразующей дисперсии. Снижение стоимостных показателей эмульсионного

пылеподавляющего состава по сравнению с известными аналогами связано с возможностью снижения отпускных цен эмульсионного продукта в 7 раз при более низком расходе (ниже известных аналогов в 5 раз).

4.6 Выводы

1. Таким образом, перечисленные и описанные методики косвенной оценки эффективности, разработанной пылеподавляющей эмульсии алкидной смолы позволили качественно и количественно определить физико-механические, коллоидно-химические свойства и структурные особенности консолидированного слоя пылеобразующей дисперсии. Используемый комплекс методов оценки консолидированного слоя в результате использования разработанного состава ПС можно рекомендовать для оценки эффективности пылеподавляющей способности эмульсии алкидной смолы и устойчивости полученного полимерного к воздействию внешних факторов. К рекомендуемым параметрам следует отнести определение: частного остатка на сите после обработки ПД эмульсией; водоустойчивость КС; краевой угол смачивания КС; структура поверхности КС; толщина КС; коэффициент запыленности.

2. Для количественной оценки эффективности пылеподавления и сравнительного анализа разработанных составов с промышленно выпускаемыми, разработана портативное лабораторное устройство, позволяющее определить концентрацию пыли в воздушной среде до и после обработки модельной пылеобразующей дисперсии. В условиях отсутствия единых методик и оборудования для установления количественных показателей пылеподавления, данная установка позволяет проводить сравнительную оценку разрабатываемых составов как на стадии их проектирования, так и при сравнении с промышленно выпускаемыми реагентами. Предложена методика для количественной и сравнительной оценки пылеподавляющих составов, заключающаяся в определении коэффициента запыленности. В результате процессов, протекающих на поверхности и в объеме пылеобразующей дисперсии при ее взаи-

модействии с разработанной эмульсией, происходит максимальное связывание дисперсных частиц, о чем свидетельствует эффективность пылеподавления. Коэффициент запыленности показал наибольшую эффективность разработанной эмульсии: по сравнению с акриловой эффективность в 1,5 раза выше, а по сравнению с водой – в 4 раза.

3. Предложена методика количественной оценки эффективности полимерных пылеподавляющих составов, заключающаяся в определении коэффициента запыленности, характеризующего устойчивость консолидированного слоя к ветровой эрозии. Разработана портативная лабораторная установка, позволяющая оценить концентрацию пыли в воздухе, действующая по принципу аэродинамической трубы.

4. Основываясь на теоретических и экспериментальных данных, были сформированы представления о процессе структурообразования алкидной эмульсии, которые представлены в виде обобщенной феноменологической модели. Предложен механизм действия эмульсии алкидной смолы на водной основе как пылеподавляющего реагента, заключающийся в пленкообразовании за счет ряда последовательно происходящих этапов консолидации на пылеобразующей дисперсии: захват каплями эмульсии частиц пыли в воздухе, их осаждение на поверхность; испарение дисперсионной среды, обеспечивающее слияние капель дисперсной фазы с формированием более крупных агрегатов сферической конфигурации, сопровождающееся пластификацией алкидных капель этиленгликолем; размягчение стенок капли эмульсии и вытекание алкидной смолы с распределением ее по поверхностному слою пылеобразующей дисперсии; в результате взаимодействия сиккатива с дисперсной фазой происходит поверхностная и объемная полимеризация алкидного покрытия, сопровождающаяся полным испарением коалесцирующей добавки и дисперсионной среды с образованием алкидной пленки, представляющей собой консолидированный слой частиц ПД.

5. На основании проведенных в рамках диссертационной работы исследований была предложена технологическая схема производства пылеподавляющих эмульсий алкидной смолы на водной основе, апробированная при выпуске опытной

партии на предприятии ООО Завод «Краски КВИЛ» (г. Белгород), включающая следующие стадии: приготовление раствора алкидной смолы с АМР-95, введение коалесцирующего и сиккатирующих модификаторов границы разделов фаз эмульсии, высокоскоростное эмульгирование, транспортировку на склад.

6. Доказана экономическая эффективность применения алкидной эмульсии, связанная со снижением эксплуатационных затрат промышленности строительных материалов за счет создания консолидированного полимерного слоя, задерживающего пыль и работающего как барьер для частиц пылеобразующей дисперсии. Снижение стоимостных показателей эмульсионного пылеподавляющего состава по сравнению с известными аналогами связано с возможностью снижения отпускных цен эмульсионного продукта в 7 раз при более низком расходе (ниже известных аналогов в 5 раз).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования. Предложено решение научной задачи по получению пылеподавляющей эмульсии алкидной смолы с высоким содержанием полимерного компонента, низким размером капель и высоким сроком жизни, обеспечивающей высокую проникающую способность реагента в пылеобразующую неорганическую дисперсию с образованием полимерной пленки, позволяющей снизить коэффициент запыленности до 0,066 при расходе эмульсии 0,75 л/м².

Установлены условия получения коллоидно-устойчивой пылеподавляющей водной эмульсии полимера на основе алкидной глифталевой смолы, заключающиеся в следующей последовательности и параметрах эмульгирования: предварительное введение эмульгатора АМР-95 в алкидную смолу (скорость $\nu=1900\text{--}2000$ об/мин, температура $t=35$ °С, время $\tau=10$ мин перемешивания); подача полученного раствора в воду (эмульгирование: $\nu=5000$ об/мин; $t=35$ °С; $\tau=10$ мин); введение коалесцента этиленгликоля (эмульгирование: $\nu=10000$ об/мин; $t=35$ °С; $\tau=30$ мин); последовательное введение сиккативов кобальта и циркония (эмульгирование: $\nu=10000$ об/мин; $t=35$ °С; $\tau=10$ минут).

Установлены закономерности влияния модифицирующих компонентов на свойства алкидной пылеподавляющей эмульсии и пленки на ее основе. Введение этиленгликоля в качестве коалесцирующего компонента – 6 масс.% и сиккативов кобальта и циркония – 0,034 и 0,066 масс.% соответственно, обеспечивают получение коллоидно-устойчивой эмульсии с размером капель – до 3 мкм, вязкостью до 50,7 мПа·с, сроком жизни – до 87 сут. Формируемая алкидная пленка, создаваемая на пылеобразующей дисперсии, представляет собой консолидированный слой частиц пыли, с временем высыхания – 19 ч, твердостью пленки – 0,32 у.ед., краевым углом – 97,5°, свободной энергией поверхности – 36,7 мН/м.

Предложен механизм действия эмульсии алкидной смолы на водной основе как пылеподавляющего реагента, заключающийся в пленкообразовании за счет последовательно происходящих этапов консолидации пылеобразующей дисперсии: за-

хват каплями эмульсии частиц пыли как в воздухе, так и на пылеобразующей поверхности; испарение дисперсионной среды, обеспечивающее слияние капель дисперсной фазы с формированием агломератов частиц пыли и их уплотнением; размягчение оболочки капли эмульсии и экстрагирование этиленгликолем алкидной смолы с распределением ее по пылеобразующей дисперсии с увеличением объема агрегированных частиц пыли; в результате взаимодействия сиккатива с дисперсной фазой происходит поверхностная и объемная полимеризация алкидной смолы, сопровождающаяся испарением коалесцента и дисперсионной среды с образованием алкидной пленки, представляющей собой консолидированный слой частиц пыли.

Разработан состав и технология получения пылеподавляющей эмульсии для нанесения методом распыления на пылеобразующую дисперсию с 56,1 %-ным содержанием алкидной смолы, 37,5 %-ным содержанием воды, 0,3 %-ным содержанием АМР-95, 6 %-ным содержанием этиленгликоля, 0,1 %-ным содержанием смеси сиккативов кобальта и циркония.

Предложен комплекс косвенных и прямых методов оценки пылеподавляющей эффективности алкидных эмульсий, включающий определение: частного остатка на сите после обработки ПД эмульсией, структуры поверхности и толщины консолидированного слоя (КС), водоустойчивости, краевого угла, коэффициента запыленности.

Предложена методика количественной оценки эффективности полимерных пылеподавляющих составов, заключающаяся в определении коэффициента запыленности, характеризующего устойчивость консолидированного слоя к ветровой эрозии. Разработана портативная лабораторная установка, действующая по принципу аэродинамической трубы, позволяющая оценить концентрацию пыли в воздухе.

Теоретические положения диссертационной работы, результаты экспериментальных исследований могут быть **рекомендованы** для внедрения на предприятиях лакокрасочной промышленности при производстве водных дисперсий; подготовки бакалавров и магистров по направлению «Химическая технология».

Перспективы дальнейших исследований целесообразно рассматривать в

направлении: изучения стабильности эмульсий алкидной смолы при длительном хранении; расширения спектра сырьевых материалов эмульгатора и модификаторов границы раздела фаз для эмульгирования алкидных смол; изучения пылеподавляющей эффективности в условиях промышленных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бастраков, Г.В.* Эрозионная прочность пород. – М., 1977. – 527 с.
2. *Бобров, А.И.* Пути улучшения пылевой обстановки в горных выработках на основе управления пылевоздушными потоками пылевоздушными потоками / А.И. Бобров, А.П. Коренев // Безопасность труда в промышленности. – 1996. – № 1. – С. 18–22.
3. *Круглов, Г.А.* Ресурсосберегающие технологии обеспыливания. Монография / Г.А. Круглов. – Челябинск: РЕКПОЛ, 1996. – 145 с.
4. *Ищук, И.Г.* Средства комплексного обеспыливания горных предприятий / И.Г. Ищук, Г.А. Поздняков. – М.: Недра, 1991. – 153 с.
5. *Лившиц, М.Л.* Лакокрасочные материалы. Справочное пособие / М.Л. Лившиц, Б.И. Пшиялковский. – М.: Химия, 1982. – 360 с.
6. *Дринберг, А.С.* Винилированные алкидные олигомеры / А.С. Дринберг. – М.: – 2014. – 152 с.
7. *Верхоланцев, В.В.* Эмульсии алкидных лаков в водных растворах высокомолекулярных ПАВ / В.В. Верхоланцев, И.В. Швайковская // Коллоидный журнал. – 1985. – № 47(1). – С. 138–139.
8. *Брацыхин, Е.А.* Технология пластических масс: учебное пособие для техникумов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Е.А. Брацыхин, Э.С. Шульгина. – Л.: Химия, 1982. – 328 с.
9. Эмульсии. Под редакцией Ф. Шермана. Пер. с англ. Под ред. А.А. Абрамзона. – Л.: Изд-во «Химия», 1972. – 448 с.
10. *Клындюк, А.И.* Поверхностные явления и дисперсные системы: учеб. пособие для студентов химико-технологических специальностей / А.И. Клындюк. – Минск: БГТУ, 2011. – 317 с.
11. *Щукин, Е.Д.* Коллоидная химия. / Е.Д. Щукин, А.В. Перцев, Е.А. Амелина. – М.: Высш. шк., 1983. – 216 с.
12. *Горбатенко, Ю.А.* Аэрозоли и их основные физико-химические свойства. / Ю.А. Горбатенко. – Екатеринбург: Редакционно-издательский отдел УГЛТУ, 2014. –

36 с.

13. *Андрианов, Е.И.* Методы определения структурно-механических характеристик порошковых материалов. / Е. И. Андрианов. – М.: Химия, 1982. – 256 с.

14. *Есина, А.Ю.* Виды пыли и способы ее ликвидации / А.Ю. Есина, Э.М. Ишмухаметов, М.И. Вициенко, И.Ю. Маркова, Т.В. Дмитриева, А.В. Абзалилова // Образование. Наука. Производство: XII Междунар. молод. форум. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – С. 1569–1573.

15. *Голикова, А.И.* Некоторые тенденции обеспыливания автодорог различного назначения / А.И. Голикова, А.В. Абзалилова, Э.М. Ишмухаметов // Инженерные задачи: проблемы и пути решения: сб. материалов Всероссийской (национальной) научн.-практ. конф. Высшей инженерной школы САФУ. – Архангельск, 2019. – С. 20–23.

16. *Строкова, В. В.* Пылеподавляющие составы на водной основе: анализ состояния и перспективы развития / В.В. Строкова, Э.М. Ишмухаметов, А.Ю. Есина [и др.] // Вестник Технологического университета. – 2021. – Т. 24. – № 12. – С. 5–38.

17. *Вициенко, М.И.* Особенности физико-химических методов пылеподавления / М.И. Вициенко, Э.М. Ишмухаметов, А.Ю. Есина, М.В. Никулина, А.В. Абзалилова // V Международный студенческий строительный форум. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – Т. 2. – С. 173–178.

18. *Есина, А.Ю.* Неорганические соли, применяемые для пылеподавления на дорогах / А.Ю. Есина, Э.М. Ишмухаметов, М.И. Вициенко // Химия и химическая технология: достижения и перспективы: сб. материалов V Всероссийской конф. – Кемерово, 2020. – С. 9.1–9.5.

19. *Челышева, Т.В.* Применение лигносульфанатов для укрепления и обеспыливания лесовозных автомобильных дорог / Т.В. Челышева // ИВУЗ. «Лесной журнал». – 2001. – №5–6. – С. 64–70.

20. *Тимшин, И.М.* Борьба с пылеобразованием на карьерах и автодорогах / И.М. Тимшин. // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – Регионам». – 2018. – С. 456–458.

21. РД 153–34.0–02.106–98 Методика расчетной оценки ветровой эрозии и пыления золоотвала ТЭС. – Введ. 15.12.1998. – Екатеринбург: ОАО «УралОРГРЭС». – 1998. – 41 с.

22. *Karin, E.* Evaluation of dust suppressants for gravel roads: methods development and efficiency studies : doctoral thesis at the royal institute of technology / E. Karin // Stockholm. – 2010. – P. 35.

23. *Евтушенко, А.И.* К вопросу исследования путей повышения эффективности пылеподавления орошением / А.И. Евтушенко, С.Л. Нор-Аревян, Я.В. Бельская // Инженерный вестник Дона. – Ростов-на-Дону. – 2016. – №3. – С. 42.

24. *Оденбах, И.А.* Некоторые новые технологии в дорожном строительстве / И.А. Оденбах, Е.Б. Таурит // Строительные материалы и изделия. – 2020. – № 1. – С. 62–69.

25. *Дмитриева, Т.В.* Эффективность укрепления техногенного грунта минеральными модификаторами / Т.В. Дмитриева, Н.П. Куцына, А.А. Безродных, В.В. Строкова, И.Ю. Маркова // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – № 7. – С. 14–23.

26. *Геращенко, Е.А.* Обеспыливание грунтовых и щебёночных дорожных покрытий / Е.А. Геращенко // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сб. науч. трудов II Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Омск, 2018. Изд-во: СибАДИ. – 2018. – С. 361–367.

27. *Дмитриева, Т.В.* Пылеулавливающие мероприятия на дорогах с переходным типом покрытия / Т.В. Дмитриева, Э.М. Ишмухаметов // Научные технологии и инновации: эл. сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию БГТУ им. В.Г. Шухова Белгородский гос. технолог. ун-т им. В.Г. Шухова, Белгород, 2019. Изд-во: БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – С. 25–28.

28. *Qing, G.* Foam for coal dust suppression during underground coal mine tunneling / G. Qing, R. Wanxing, S. Jintai // Tunneling and Underground Space Technology. – 2019. – № 89. – Pp. 170–178.

29. *Вициенко, М.И.* Влияние поверхностно-активных веществ на свойства пылеподавляющих эмульсий / М.И. Вициенко, Э.М. Ишмухаметов, А.Ю. Есина, И.Ю.

Маркова, Т.В. Дмитриева // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Национальной с международным участием научн.-практ. конф. студентов, аспирантов, учёных и специалистов. – Тюмень, 2020. – Т. 2. – С. 55–57.

30. Соколова, Г.Н. Исследование влияния добавок поверхностно-активных веществ на эффективность пылеподавления при гидрообеспыливании / Г.Н. Соколова // Труды РГУПС. – 2018. – № 2. – С. 53–56.

31. Пахомовский, А.Н. Битумно-эмульсионные смеси для консервации (обеспыливания) золоотвалов тепловых электростанций / А.Н. Пахомовский, В.В. Алексеев // Вестник ИрГТУ. – 2013. – № 9 (80). – С. 154–157.

32. Геращенко Е.А. Обеспыливание грунтовых и щебёночных дорожных покрытий / Е.А. Геращенко // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сб. науч. трудов II Междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Омск, 2018. Изд-во: СибАДИ, – 2018. – С. 361–367.

33. Qingsheng, C. Sher behavior of sandy silt with lugnosulfonate / C. Qingsheng // NRC Research Press. – 2015. – № 52. – Pp. 1180–1185.

34. Киреева, Е.В. Пленкообразующие дисперсии на водной основе для пылеулавливающих составов / Е.В. Киреева, Н.К. Кондрашева, О.В. Зырякова, А.С. Дринберг, Г.Р. Недведский, А.Н. Никандров // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2018. – № 7–8. – С. 23–25.

35. Пат. 2137923 РФ Состав для закрепления пылящих поверхностей [Текст] / Е.В. Кичигин, И.В. Тикунова, Л.А. Дейнека; заявл. 27.04.98; опубл. 20.09.99.

36. Дедкова, Е.В. К вопросу о разработке и применении водных эмульсий функционального назначения / Е.В. Дедкова, Э.М. Ишмухаметов, А.В. Абзалилова // Ресурсо-энергоэффективные технологии в строительном комплексе: 7-я Междунар. научн.-практ. конф. – Саратов, 2019. – № 11. – С. 187–190.

37. Ковшов, С.В. Энергоэффективная технология пылеподавления в угольных шахтах / С.В. Ковшов, В.П. Ковшов, А.Х. Ерзин, Ф.А. Орлов, А.М. Сафина // International scientific review. – Boston, USA, 2017. – №1 (32). – С. 16–17.

38. *Осипьянц, Ю.И.* Оценка пылесвязывающих свойств профилактических средств / Ю.И. Осипьянц, Д.С. Исаев, Н.К. Кондрашева, О.В. Зарянова // Иновационные материалы и технологии в дизайне. – Санкт-Петербург, 2018. – С. 64–65.

39. *Ping, C.* Evaluation of the coal dust suppression efficiency of different surfactants: A factorial experiment / C. Ping, Z. Zidong, X. Guang, G. Apurna, H. Jinxin, Y. Tao // Col-loids and surfaces. – 2020. – 124686.

40. *Costas, A. A.* Improving properties of sand using epoxy resin and electrokinetics / A. A. Costas, K. Panagiotis, L. Malvina, K. Sarafianos // Geotech geol eng. – 2014. – №32. – Pp. 859–872.

41. *Hetang, W.* An experimental comparison of the spray performance of typical water-based dust reduction media / W. Hetang, D. Yunhe, W. Xiaobin, H. Xinxin // Powder technology. – 2019. – Pp. 580-588.

42. *Guo-Qing, S.* Experimental study on synergistic wetting of a coal dust with dust suppressant compounded with noncationic surfactants and its mechanism analysis / S. Guo-Qing, H. Cong, W. Yan-ming, W. He-Tang // Powder technology. – 2019. – Pp. 1077–1086.

43. *Qiu, B.* The preparation of a novel hydrogel based on crosslinked polymers for suppressing coal dusts / B. Qiu, N. Wen, L. Changqi, Z. Haihan, W. Hongkun, J. Hu, Y. Jiayi, L. Qiang // Journal of cleaner production. – 2020. – 119343.

44. *Qingsheng, C.* Shear behaviour of sandy silt treated with lignosulfonate / C. Qingsheng, I. Buddhima // Can. Geotech. – 2015. – Pp. 1180–1185.

45. Пат. 1040175 А СССР. Состав для смачивания угольной пыли [Текст] / Зубкова Ю.Н., Уэденников Н.Б., Копытовская Е.В.; заявл. 09.03.82; опубл. 07.09.83.

46. *Jiayi, Y.* Synthesis and performance measurement of a modified polymer dust suppressant / Y. Jiayi, N. Wen, Z. Haihan, X. Zihao, B. Qiu, W. Hongkun, J. Hu, Z. Wenjie // Advanced powder technology. – 2020. – №31. – Pp. 792–803.

47. *Qun, Z.* The development of an optimized evaluation system for improving coal dust suppression efficiency using aqueous solution sprays / Z. Qun, X. Guang, C. Yinping, Q. Botao, Z. Zidong, G. Chuwen // Colloids and surfaces. – 2020. – 125104.

48. Qun, Z. Ef-fects of preparation parameters on the wetting features of sur-factant-magnetized water for dust control in Luwa mine / Z. Qun, Q. Botao, W. Jun, W. Hetang, W. Fei // Pow-der technology – China, 2018. – Pp. 7–15.

49. Rulin, L. Preparation and performance characteristics of an environ-mentally-friendly agglomerant to improve the dry dust removal effect for filter material / L. Rulin, Z. Gang, W. Cunmin, J. Wenjing, W. Xing // Journal of hazardous materials. – 2020. – 122734.

50. Debadutta, D. Im-proving stability of concentrated coal–water slurry using mixture of a natural and synthetic surfactants / D. Debadutta, D. Uma, M. Jibardhan, K. M. Pramila // Fuel pro-cessing technology. – 2013. – №113. – Pp. 41–51.

51. Zezin, A.B. Polymeric stabilizers for protection of soil and ground against wind and water erosion / A.B. Zezin, S.V. Mikheikin, V.B. Rogacheva, M.F. Zansokhova, A.V. Sybachin, A.A. Yaroslavov // Advances in colloid and interface science. – 2015. – №226. – Pp. 17–23.

52. Shulga, G. Lignin-based interpoly-mer com-plexes as a novel adhesive for protection against ero-sion of sandy soil / G. Shulga, F. Rekner, J. Varslavan // J. Engng Res. – 2001. – Pp. 309–316.

53. Shuailong, L. Synthesis and performance characteristics of a new ecofriendly crust-dust suppressant extracted from waste paper for surface mines / L. Shuailong, Z. Gang, L. Zongqi, W. Naiguo, W. Zunyi, L. Wei // Journal of cleaner production. – 2020. – 120620.

54. Zhilin, X. Synergistic coal dust control using aqueous solutions of thermo-plastic powder and anionic surfactant / X. Zhilin, F. Zhenya, L. Ang // Colloids and surfaces A: physicochem. Eng. As-pects. – 2017. – Pp. 864–871.

55. Jian, S. Preparation and performance characterization of a composite dust suppressant for preventing secondary dust in underground mine roadways / S. Jian, Z. Gang, G. Danhong, W. Zunyi, W. Naiguo // Chemical engineering research and design. – 2020. – Pp. 195–208.

56. Jianwei, C. Study on coal dust crusting for coal pile based on a compound bind-

er / C. Jianwei, W. Yu, L. Yadong, Z. Xinrui, L. Wang, S. Wanting, W. Zui, H. Fangwei // Powder technology. – 2020. – Pp. 149–165.

57. *Tao, F.* Preparation and characterization of a wetting-agglomeration-based hybrid coal dust suppressant / F. Tao, Z. Gang, W. Jiayuan // Process safety and environmental protection. – 2018. – Pp. 282–291.

58. Пат. 1810585 А1 СССР. Состав для борьбы с пылью [Текст] / Ищук И.Г., Подображин С.Н., Скопин А.Н., Шенрок Р.Г.; заявл. 17.12.90; опубл. 23.09.93.

59. Пат. 2683014 РФ. Способ пылеподавления на открытых угольных складах [Текст] / Ковшов С.В., Гридина Е.Б., Ильяшенко М.С.; заявл. 21.05.2018; опубл. 25.03.2019.

60. Пат. 983133 СССР. Состав для смачивания угольной пыли [Текст] / Лунин А.Ф., Кудряшов П.А., Фролов А.Е., Бочаров В.В., Сокова Н.А.; заявл. 14.08.81; опубл. 23.12.82.

61. Пат. 907270 СССР. Состав для борьбы с пылью [Текст] / Журавлев В.П., Вейсенберг И.В.; заявл. 18.07.80; опубл. 23.02.82.

62. Пат. 2380390 РФ. Средство для борьбы с пылью и борьбы с замерзанием [Текст] / Тран Бо Л., Бхаттачарья Санта; заявл. 08.03.2005; опубл. 27.01.2010.

63. Пат. 901568 СССР. Состав для пылеподавления [Текст] / Печин В.Ф., Кавер А.А., Замотаев А.Н., Ротин В.А., Шарин А.М.; заявл. 29.04.80; опубл. 30.01.82.

64. *Jianwei, C.* A compound binder of coal dust wetting and suppression for coal pile / C. Jianwei, Z. Xinrui, L. Yadong, L. Wang, W. Yu, B. Marek, L. Xiaochuan, S. Wanting, W. Zui, W. Kai // Process safety and environmental protection. – 2020. – №147. – Pp. 92–102.

65. *Haihan, Z.* Preparation and performance study of a novel polymeric spray-ing dust suppression agent with enhanced wetting and coagulation properties for coal mine / Z. Haihan, N. Wen, Y. Jiayi, B. Qiu, W. Hongkun, J. Hu, P. Huitian, C. Dawei, L. Zhiqiang, L. Qiang // Powder technology. – 2020. – Pp. 901–914.

66. *Нестеренко, О.В.* Исследования по пылеподавлению на щебеночной авто-дороге / О.В. Нестеренко, Т.А. Комиссаренко, Н.В. Домничев // Scientific Journal

«ScienceRise». – 2017. – №11 (40). – С. 48–53.

67. *Тимшин, И.М.* Предупреждение загрязнения атмосферы карьеров пылью от внешних источников / И.М. Тимшин // Международная научно-практическая конференция «Уральская горная школа – Регионам». – 2018. – С. 459–460.

68. *Шувалов, Ю.В.* Снижение пылеобразования и переноса пыли при разрушении горных пород / Ю.В. Шувалов, С.А. Н.А. Ильченкова, Гаспарьян, А.П. Бульбашев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2004. – Семинар №3. – С. 75–78.

69. *Ляшенко, В.И.* Обоснование природоохранных технологий и средств для пылеподавления поверхностей хвостохранилищ гидрометаллургического производства / В.И. Ляшенко, А.А. Гурин // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2018. – № 9. – С. 58–72.

70. *Лычагин, Е.В.* Совершенствование методов закрепления пылящих поверхностей / Е.В. Лычагин, И.В. Сеница // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – С. 136–140.

71. *Guang, X.* Surfactant-aided coal dust suppression: A review of evaluation methods and influencing factors / X. Guang, C. Yinping, E. Jacques, X. Jialin // Science of the total environment. – 2018. – Pp. 1060–1076.

72. *Chaohang, X.* Experimental investigation of coal dust wetting ability of anionic surfactants with different structures / X. Chaohang, W. Deming, W. Hetang, M. Liyang, Z. Xiaolong, Z. Yunfei, Z. Yi, L. Fangming // Process safety and environmental protection. – 2019. – Pp. 69–76.

73. *Мочалов, В.И.* Анализ существующих способов и средств пылеподавления на хвостохранилищах железорудных горно-обогатительных комбинатов / В.И. Мочалов, С.В. Мосин // Горный информационно-аналитический бюллетень – Москва, 2000. – С. 3.

74. *Алосманов, М.С.* Средство для борьбы с пылью / М.С. Алосманов, М.Ш. Атаев, С.С. Султанзаде, А.Я. Маликова, Г.М. Мамедова // Вестник науки и образования – Иваново, 2018. – Том 1. – № 2 (38). – С. 17–21.

75. *Hetang, W.* Experimental study on improving performance of dust-suppression foam by magnetization / W. Hetang, C. Xinyi, X. Ying, W. Xiaobin, V. L. Wei // *Colloids and surfaces*. – 2019. – Pp. 370–377.

76. *Qing, G.* Foam for coal dust sup-pression during underground coal mine tunneling / G. Qing, R. Wanxing, S. Jingtai // *Tunnelling and underground space technology*. – 2020. – №89. – Pp. 170–178.

77. *Xiaobin, W.* An experimental investigation on the effect of carboxymethylcellulose on morphological characteristics of dust-suppression foam and its mechanism exploration / W. Xiaobin, W. Hetang, X. Ying, D. Yunhe // *Process safety and environmental protection*. – 2020. – Pp. 126–134.

78. Пат. 614239 СССР. Состав для борьбы с пылью [Текст] / Семененко Б.А., Бухман Я.З., Куреша И.А., Симаков П.Г., Таращик А.Д., Галкин А.М.; заявл. 08.07.71; опубл. 05.07.78.

79. Пат. 1270371 А1 СССР. Состав для борьбы с пылью [Текст] / Дюсебаев М.К., Мусабеков К.Б., Суляева Н.Г., Пилат Б.В., Жумартов Б.С., Спицина Н.И., Абдиев К.Ж.; заявл. 01.08.85; опубл. 15.11.86.

80. *Шувалов, Ю.В.* Борьба с пылью на горных предприятиях с использование долго- и короткоживущих пен повышенной кратности / Ю.В. Шувалов, А.П. Веселов, А.П. Бульбашев, Ю.Д. Смирнов, А.А. Каменский // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. – 2007. – С. 171–179.

81. *Hetang, W.* Effect of water-soluble polymers on the performance of dust-suppression foams: Wettability, surface viscosity and stability / W. Hetang, W. Xiaobin, D. Yunhe, W. Deming // *Colloids and surfaces*. – 2019. – Pp. 92–98.

82. *Оспанова, Ж.Б.* Получение пенообразователей для пылеподавления угольных частиц / Ж.Б. Оспанова, С. Токтагул, А. Тасмагамбетова, М. Асадов // *Вестник КазНУ. Серия химическая*. – 2020. – №3(94). – С. 13–18.

83. Пат. 2542076 РФСпособ обеспыливания пылящих поверхностей [Текст] / А.Н. Па-хомовский, В.В. Алексеенко, С.Н. Бутаков, М.Н. Самусева; заявл. 09.01.2014; опубл. 20.02.2014.

84. *Пахомовский, А.Н.* Битумно-эмульсионные смеси для консервации (обеспыливания) золоотвалов тепловых угольных электростанций / А.Н. Пахомовский, В.В. Алексеенко // Вестник ИрГТУ. – Иркутск, 2013. – №9 (80). – С. 154–157.

85. *Вишневский, А.В.* Использование отходов промышленного производства для обеспыливания технологических автомобильных дорог / А.В. Вишневский // Вестник ЗабГУ. – 2017. – Т. 23. – №11. – С. 12–18.

86. *Киреева, Е.В.* Пленкообразующие дисперсии на водной основе для пылеулавливающих составов / Е.В. Киреева, Н.К. Кондрашева, О.В. Зырянова, А.С. Дринберг, Г.Р. Недведский, А.Н. Никандров // Лакокрасочные материалы и их применение, Москва. – 2018. – № 7-8. – С. 42–45.

87. Пат. 2137923 РФ. Состав для закрепления пылящих поверхностей [Текст] / Кичигин Е.В., Тикунова И.А., Дейнека Л. А.; заявл. 27.04.1998; опуб. 20.09.1999.

88. *Подображин, С.Н.* Предотвращение пылевыведения в атмосферу разрезов при ветровой эрозии / С.Н. Подображин // Безопасность труда в промышленности. – 2011. – №6. – С. 16–22.

89. *Haihan, Z.* Preparation and experimental dust suppression performance characterization of a novel guar gum-modification-based environmentally-friendly degradable dust suppressant / Z. Haihan, N. Wen, W. Hongkun, B. Qiu, J. Hu, L. P. Yanghao // Technology. – 2018. – Pp. 314–325.

90. Пат. 1032008 А СССР. Эмульсия для обеспыливания дорожных и аэродромных покрытий [Текст] / Колбас Н.С., Моовилов Б.П.; заявл. 17.12.81; опубл. 30.07.83.

91. Пат. 922289 СССР. Состав для пылеподавления [Текст] / В.П. Журавлев, И.В. Вейсенберг, Е.Ф. Демишева; заявл. 01.08.80; опубл. 23.04.82.

92. Пат. 834358 СССР. Состав для пылеподавления [Текст] / Журавлев В.П., Вейсенберг И.В.; заявл. 14.08.79; опубл. 30.05.81.

93. Пат. 744020 СССР. Состав для подавления пыли [Текст] / Кнатько В.М., Абрамзон А.А., Макарова Л.А., Моисеева Ю.Б., Махагонова Н.Н., Медведева В.Д.; заявл. 18.01.78; опубл. 30.06.80.

94. Пат. 1104300 А СССР. Состав для пылеподавления [Текст] / Пименов А.Т., Соловьев В.И., Мурзахметов С.А., Журавлев В.П., Торегельдин М.М., Асатов С.К.; заявл. 11.03.83; опубл. 23.07.84.

95. Pat. 8052890 B2 US. Compositions for dust suppression and methods / Van G. Nguyen; filing 2.01.2005; pub. 22.12.2005.

96. Pat. 0197714 A2 US. Method for the control of dust / Kirwin, Ross C.; filing 26.03.86; pub. 15.10.86.

97. Pat. 0335612 B1 US. Dust suppressant for minerals / Field, John Rodney, Gagen, Geoffrey S.; filing 23.03.89; pub. 27.01.93.

98. Пат. 1375835 А1 СССР. Способ пылеподавления [Текст] / Журавлев В.П., Вейсенберг И.В., Бесалов В.И., Страхова Н.А.; заявл. 16.04.86; опубл. 23.02.88.

99. *Дринберг, А.С.* Интумесцентные покрытия на основе винилированных алкидов / А.С. Дринберг, Б.В. Пекаревский, А.В. Гарабаджиу [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2019. – № 4. – С. 26-31.

100. *Невзоров, Г.Н.* Разработка покрытий пониженной горючести на основе винилированных алкидных олигомеров для судостроительной промышленности / Г.Н. Невзоров, И.Н. Тарасова, А.С. Дринберг [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2019. – № 7-8. – С. 36–39.

101. *Лютлова, Ж.Б.* Радиоллиз водных растворов глицерина. Введение / Ж.Б. Лютлова, С.Л. Панасюк, И.В. Юдин // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2019. – № 49(75). – С. 18–24.

102. *Чистякова, М.А.* Микрокомпозиционные латексы стирол-акрилатных сополимеров и их применение в водно- дисперсионных лакокрасочных материалах / М.А. Чистякова, П.А. Голосов, В.К. Васильев [и др.] // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2019. – № 48(74). – С. 107–112.

103. *Шевченко, Н.Н.* Формирование стабильных сферических эмульсий методом капельной микрофлюидики / Н.Н. Шевченко, Р.Ш. Абиев, С.Д. Светлов [и

др.] // Научное приборостроение. – 2019. – Т. 29, № 3. – С. 20–29.

104. *Беленький, Д.И.* Исследования дисперсных систем и разработка стандартных образцов дзета-потенциала частиц в жидкости / Д. И. Беленький, Д. В. Аверкин, Д. В. Вишневецкий, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов // Измерительная техника. – 2021. – № 4. – С. 58–62.

105. *Потапенкова, Т.В.* Сравнение процессов самоорганизации в водных растворах L-цистеина и N-ацетил-L-цистеина с нитритом серебра / Т. В. Потапенкова, Д. В. Вишневецкий, А. И. Иванова, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2021. – № 2(44). – С. 56–68.

106. *Маркова, А. И.* Изучение морфологии эмульсий методом электронной спектроскопии / А. И. Маркова, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2019. – № 2(36). – С. 71–81.

107. *Шухина, К. А.* Процессы самоорганизации в водных растворах глицина, нитрата серебра и поливинилового спирта / К. А. Шухина, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. – 2019. – № 4(38). – С. 177–187.

108. *Белова, И.А.* Строение частиц дисперсной фазы в гидрозоле оксогидроксида европия / И.А. Белова, А.С. Гродский, В.С. Макулова, К.И. Киенская // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2021. – № 10. – С. 1917–1921.

109. *Аристов, Б.Г.* Электрокинетические свойства пигментов и наполнителей, используемых в отечественной лакокрасочной промышленности / Аристов Б.Г., Киенская К.И., Коничев М.А., Нистратов А.В., Зияд Манасир // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2021. – № 10. – С. 14–18.

110. *Киенская, К.И.* Межмолекулярные взаимодействия в водных растворах рибавирин-интерферон-альфа-2b / К.И. Киенская, М.В. Сардушкин, И.А. Белова [и др.] // Биофармацевтический журнал. – 2021. – Т. 13. – № 4. – С. 20–24.

111. *Курьяков, В.Н.* Исследование физико-химических свойств водных дисперсий n-алканов C₂₃H₄₈ и C₂₈H₅₈: дзета-потенциал, температуры фазовых переходов / В.Н. Курьяков, Д.Д. Иванова, К.И. Киенская // Известия Академии наук. Се-

рия химическая. – 2020. – № 7. – С. 1306–1310.

112. ГОСТ 33290–2015 Материалы лакокрасочные, применяемые в строительстве. Общие технические условия [Текст]. Введен. 01.03.2016. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2015. – 23 с.

113. ГОСТ 58952.10–2020 Дороги автомобильные общего пользования. Эмульсии битумные дорожные. Метод определения адгезии с минеральными материалами [Текст]. Введен. 12.01.2020. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2020. – 12 с.

114. ГОСТ Р 51073–97 Покрытия полимерные защитные изолирующие, локализирующие, пылеподавляющие и дезактивирующие. Общие технические условия [Текст]. Введен. 01.07.1997. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2020. – 12 с.

115. ГОСТ 23558–94 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродинамического строительства [Текст]. Введен. 01.01.1995. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.

116. ГОСТ Р 52056–2003 Вяжущие полимерно-битумные дорожные на основе блоксополимеров типа стирол-бутадиен-стирол [Текст]. Введен. 01.01.2004. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2003. – 8 с.

117. ГОСТ 30491–2012 «Смеси органоминеральные и грунты, укрепленные органическими вяжущими, для дорожного и аэродромного строительства» [Текст]. Введен. 01.11.2013. – М.: ФГУП «Стандартинформ», 2019. – 17 с.

118. *Ишмухаметов, Э.М.* Методы оценки эффективности пылеподавляющих эмульсий / Э.М. Ишмухаметов // Международная научн.-практ. конф. им. Д.И. Менделеева. – Тюмень, 2022. – Т. 1. – С. 185-187.

119. *Ишмухаметов, Э.М.* Методы обеспыливания покрытий автомобильных дорог / Э.М. Ишмухаметов, Т.В. Дмитриева // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: Междунар. науч.-техн. конф. – Йошкар-Ола, 2019. – С. 164–166.

120. ГОСТ Р 52165–2003 Материалы лакокрасочные. Лаки. Общие технические условия [Текст]. Введен. 01.01.2005. – М.: Изд-во стандартов, 2004. – 12 с.

121. ТУ 2484-006-81449791-2011 Эмульгатор IVP-314. – Введение 09.07.2007.

122. ГОСТ 10779-78. Спирт поливиниловый. Технические условия. [Текст]. – Взамен ГОСТ 10779-69; введ. 1980-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 20 с.

123. ГОСТ 6709-72 Вода дистиллированная. Технические условия [Текст]. – Введен. 01.01.1974. – М.: Стандартиформ, 2008. – 11 с.

124. ГОСТ 25100-95 Грунты. Классификация [Текст]. Введен. 01.07.1996. – М.: ОАО «ЦПП», 2018. – 31 с.

125. ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава [Текст]. – Введен. 01.07.2015. – М.: «Стандартиформ», 2019. – 23 с.

126. ГОСТ 5180-2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик [Текст]. – Введен. 01.04.2015. – М.: «Стандартиформ», 2019. – 23 с.

127. ГОСТ 5233-2021 «Материалы лакокрасочные. Метод определения твердости покрытия по маятниковому прибору [Текст]. – Введен. 01.03.2015. – М.: «Стандартиформ», 2021. – 21 с.

128. ГОСТ 31149-2014 Материалы лакокрасочные. Определение адгезии методом решетчатого надреза [Текст]. – Введен. 01.09.2015. – М.: «Стандартиформ», 2014. – 21 с.

129. ГОСТ 68063-73 Материалы лакокрасочные. Метод определения эластичности пленки при изгибе [Текст]. – Введен. 01.04.1974. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 7 с.

130. ГОСТ 19007-73 «Материалы лакокрасочные. Метод определения времени и степен высыхания [Текст]. – Введен. 30.06.1974. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

131. ГОСТ 8420-2022 Материалы лакокрасочные. Методы определения условной вязкости [Текст]. – Введен. 01.03.2023. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.

132. ГОСТ 31939-2012 Материалы лакокрасочные. Определение массовой доли нелетучих веществ [Текст]. – Введен. 01.03.2023. – М.: Изд-во стандартов, 2003. –

7 с.

133. ГОСТ Р 51037–97 Покрытия полимерные защитные изолирующие, локализирующие пылеподавляющие и дезактивирующие. Общие технические требования [Текст]. – Введен. 01.07.1997. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 12 с.

134. *Егоров, В.Н.* Определение запыленности воздуха / В.Н. Егоров, Д.А. Хабаров // Методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Безопасность жизнедеятельности», Москва. – 2016. – С. 26.

135. *Неменко, Б.А.* Методы определения взвешенных аэрозолей в атмосферном воздухе / Б.А. Неменко, А.Д. Илиясова, Д.М. Сыздыков // Вестник КазНМУ, Казахстан. – 2014. – №2 (2). – С. 488–490.

136. ГОСТ Р 58196–2018 Горное дело. Борьба с пылью на угледобывающих предприятиях. Термины и определения [Текст]. – Введен. 01.01.2019. – М.: «Стандартинформ», 2018. – 19 с.

137. СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 (с изменением N1) [Текст]. – Введен. 01.07.2013. – М.: Минрегион России, 2013. – 66 с.

138. ГОСТ 23558–94 Смеси щебеночно-гравийно-песчаные и грунты, обработанные неорганическими вяжущими материалами, для дорожного и аэродинамического строительства. Технические условия (с Изменениями N 1, 2) [Текст]. – Введен. 01.01.1995. – М.: Стандартинформ, 2005. – 14 с.

139. *Mahboubé, J.* A review of wind erosion models: Data requirements, processes, and validity / J. Mahboubé, M. Sonia, T. John, F. Roger K. Germany. – 2020. – 104388.

140. *Подображин, С.Н.* Предотвращение пылевых выделений в атмосферу разрезов при ветровой эрозии / Безопасность труда в промышленности. – 2011. – №6. – С. 16–22.

141. *Гончаров, С.А.* Исследование процесса распространения пыли в атмосфере при взрывах на открытых горных работах / С.А. Гончаров, Г.Г. Каркашадзе, Н.Г. Чурилов, В.В. Семенов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 1998. – С. 51–55.

142. *Семенов, В.В.* Обоснование и разработка способа пылеподавления и нейтрализации вредных газов при массовых взрывах на карьерах: Автореферат. дис. канд. техн. наук. Москва, – 2008. – 23 с.

143. *Юрченко, А.А.* Подавление пылевого облака после массового взрыва в карьере путем его орошения / А.А. Юрченко, А.А. Литвиненко // Разработка месторождений. Украина. – 2013. – № 2013. – С. 385–389.

144. *Строкова, В. В.* Анализ способов получения алкидной эмульсии на водной основе / В. В. Строкова, Э. М. Ишмухаметов, А. Ю. Есина и др. // Вестник Технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 7. – С. 43–48.

145. *Ищенко, А.В.* Разработка и коллоидно-химические свойства гидрофобизирующих эмульсий полисилоксана: дис. канд. техн. наук: 02.00.11 / А.В. Ищенко. – Белгород, 2018. – С. 198

146. *Вишневецкий, Д.В.* Влияние поливинилового спирта на реологию и морфологию супрамолекулярной системы L-цистеин- AgNO_3 / Д. В. Вишневецкий, А. Н. Адамян, А. И. Иванова, С. Д. Хижняк, П. М. Пахомов // Известия Академии наук. Серия химическая. – 2020. – № 8. – С. 1443–1448.

147. *Вишневецкий, Д.В.* Процессы самоорганизации в водном растворе поливинилового спирта, L-цистеина и нитрата серебра / Д.В. Вишневецкий, А.Н. Адамян, В.С. Лагусева, А.И. Иванова, С.Д. Хижняк, П.М. Пахомов // Высокомолекулярные соединения. Серия А. – 2019. – Т. 61. – № 1. – С. 82–90.

148. *Строкова, В.В.* Оценка влияния эмульгатора на свойства алкидной эмульсии на водной основе / В.В. Строкова, Э.М. Ишмухаметов, А.Ю. Есина, М.А. Степаненко, И.Ю. Маркова // Chemical Bulletin. – 2022. – Т. 5. – № 3. – С. 39–48.

149. *Ульрих, П.* Полиэфиры и алкидные смолы / пер. с нем. Л.В. Казаковой; научн. Ред.: С.С. Желечев, Л.А. Сахарова, О.А. Куликова. – М.: Пэйнт-Медиа, 2009. – 232 с.

150. *Голец, А. А.* Действие сиккатива на пленкообразование алкидной эмульсии / А.А. Голец, А.Ю. Есина, А.И. Голикова // Образование. Наука. Производство: Сборник докладов XIV Международного молодежного форума. – Белгород: Белго-

родский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2022. – С. 26–29.

151. *Strokov, V.V.* Modification of Organosilicon Emulsions for Obtaining Hydrophobic Surfaces and for Reducing Dust Deposition / V.V. Strokov, M.V. Nikulina, E.M. Ishmukhametov, A.Yu. Esina, P.S. Baska-kov, M.A. Stepanenko, I.Yu. Markova, A.V. Abzalilova, I.G. Ryltsova // *Chemistry for Sustainable Development*. – 2023. – Vol. 31. – № 3 – Pp. 337–342.

152. *Маркова, И.Ю.* Технологические особенности нанесения эмульсионных составов для получения функциональных покрытий / И.Ю. Маркова, А.Ю. Есина, М.А. Степаненко, Э.М. Ишмухаметов // IX Всероссийская научно-практическая конференция с участием молодых ученых «Инновационные материалы и технологии в дизайне». – 2023. – С. 5–7

153. *Strokov, V.V.* Portable Instrument for Determining the Efficiency of Dust Suppression / V.V. Strokov, I.Yu. Markova, V.A. Kobzev, A.Yu. Esina, M.A. Stepanenko, E.M. Ishmukhametov // *Russian Engineering Research*. – 2023. – Vol. 43. – Pp. 1162–1165.

154. *Мартьянов, В.Л.* Аэрология горных предприятий: учебное пособие для студентов направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиля «Безопасность технологических процессов и производств» / В. Л. Мартьянов; КузГТУ. – Кемерово, 2016.

155. *Подображин, С.Н.* Предотвращение пылевыведения в атмосферу разрезов при ветровой эрозии / Безопасность труда в промышленности. – 2011. – №6. – С. 16–22.

156. *Гончаров, С.А.* Исследование процесса распространения пыли в атмосфере при взрывах на открытых горных работах / С.А. Гончаров, Г.Г. Каркашадзе, Н.Г. Чурилов, В.В. Семенов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 1998. – С. 51–55.

157. РД 52.04.830–2015 Массовая концентрация взвешенных частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе. [Текст]. Введен. 01.03.2016. – Санкт-Петербург.

2015. – 41 с.

158. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Введен. 01.03.2021. – 983 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Анализ состава и свойств пылеподавляющих растворов на водной основе

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
1	Натрий карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) (20 %) / –	$\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$ (75 %)	Сосновое масло (5 %)	– / –	Относительная влагоемкость (118,7 %) / – / –	Влагоемкость / Теоретическое снижение поверхностного натяжения и повышение вязкости	Угольная промышленность / – / –	[37]
2	Легкие газойли каталитического крекинга (ЛГКК)(45%) и тяжелые газойли каталитического крекинга (ТГКК) (45 %) / –	Крекинг-остаток процесса висбрекинга (КО) (10 %)	–	– / –	Набухание резины автомобилей (6 сут.); коэффициент набухания резины (1,1–1,7 %) / Масса фракций строительного песка (33 г, размер сита 0,5 мм) / –	Анализ фракционного состава / Агломерация частиц песка	Грунтовые дороги / Распыление / –	[38]
	Легкие газойли замедленного коксования (ЛГЗК) (45 %) и тяжелые газойли замедленного коксования (ТГЗК) (45 %) / –							
3	ПАВ (0,20 %) / Вода	–	Раствор угольной пыли (суббитуминозный уголь) (0,15)	– / –	– / Концентрация пыли (до обработки 110–400 мг/м ³ , после 14–150 мг/м ³) / 43,9–48,9 %	Аэродинамическая камера / Подбор начальной концентрации угольной пыли в воздухе	Угольная пыль / – / –	[39]
4	Эпоксидная смола (2 %) / –	–	Вода (1,5 %)	– / –	– / Коэффициент однородности	Прочностные характеристики пылящей по-	Песчаный грунт / – /	[40]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
					(4,64); коэффициент проницаемости (4×10^{-4} м/с); прочность (1,15–3,6 МПа); модуль упругости песка (155 МПа); прочность на разрыв при расщеплении (0,21 МПа) / –	верхности после обработки / Укрепление песка эпоксидной смолой	0,074–0,85 мм	
5	Намагниченный додецилбензолсульфонат натрия (0,025 %) / Магнитная вода	–	–	– / –	Измерение скорости и расстояния распыления (программное обеспечение FlowSizer) (оптимально выше 25 см). Размер капель (60–260 нм) / – / –	Контроль размера капель / Магнитное ППАВ;	Угольная промышленность / Распыление / < 60 мкм	[41]
6	НПАВ (Первичный этоксилат алкоголь) / Водопроводная вода	АПАВ	–	– / –	Поверхностное натяжение (44,174 мН/м). Краевой угол (41,22°) / – / –	Смачивающий эффект / Смешение АПАВ и НПАВ	Угольная промышленность (битуминозный уголь) / – / < 74 мкм	[42]
7	Итаконовая кислота (5 г) и акриловая кислота (12,5 г) / –	Персульфат калия 0,5 % (0,15 г)	–	1 ч / 70°C	Краевой угол (10,95–21,79 °); влагоудержание (3,1–	Аэродинамическая камера (скорость ветра 21 м/с) / Повышение вла-	Угольная промышленность / Рас-	[43]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
	Бентонит (2 г) / Дистиллированная вода (100 мл)	Персульфат калия (0,15 г) и метилен-бисакриламид (0,075 г)	–	3 ч / 65°C	16,4 мл за 47–156 мин); pH (6–8) / Потеря массы (32,06 % при 500°C) / 82,50 %	гоудерживающих свойств	пыление / –	
8	Лигносульфонат (2 % от массы почвы) / –	–	–	– / –	Предел текучести (увеличился на 10 %); остаточное напряжение (30 % при сохранении пластичности); прочность при сдвиге (0,005–0,042 МПа) / – / –	Прочностные характеристики пылящей поверхности после обработки / Повышение связующего эффекта при введении лигносульфоната	Песчаный ил / Пропитывание / 2,38 мм	[44]
9	Диэтаноламылы синтетических жирных кислот (0,16 %) / –	Вода	Натриевая соль КО СЖК (0,10 %) или калиевая соль КО СЖК (0,10 %)	– / –	Скорость смачивания (4,8 мг/с) / – / –	Смачивающий эффект / Подбор концентрации солей	Угольная промышленность / – / –	[45]
10	Альгинат натрия и ксантановая камедь / дистиллированная вода	CaCl ₂	–	3,5 ч / –	Вязкость при t = 75°C (21,44 МПа×с); краевой угол (6,61–23,47 °); водоотдача (80–100 % через 5–10 ч); pH (8) / – / 87,5 %	Аэродинамическая камера (давление 8 МПа, скорость ветра 1,2 м/с) / Повышение влагоудерживающих свойств	Угольная промышленность / Распыление / –	[46]
	К раствору: диметилсульфоксид и эпихлоргидрин; NaOH после стабилизации							

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
11	Додецилбензолсульфонат натрия (ПАВ) (0,2 %) / Деионизированная вода	–	–	– / –	Поверхностное натяжение (35,1 мН/м); краевой угол (53 °); работа растекания (57 мН/м); время впитывания реагента (13–18 мин) / время оседания пыли (2,5 мин) / 64 %	Измерение пыления в установке с принципом аэродинамической трубы (скорость подачи пыли 2,3 г/мин) / Подбор оптимальной концентрации ПАВ	Угольная промышленность / Распыление (5 л/мин при 1 МПа) / < 38 мкм	[47]
12	Додецилбензолсульфонат натрия (АПАВ) и этоксилат метилового эфира жирной кислоты (0,03 %) / Вода	–	Неорганические (NaCl, CaCl ₂) и органические (CH ₃ COONa, глицерин) электролиты	25 мин / –	Краевой угол (до 28,01°); поверхностное натяжение (26,47 мН/м); время осаждения пыли (86 с); работа смачивания (25 мН/м) / – / 56,2–86,5 %	Измерение пыления в установке с принципом естественного осаждения пыли / Намагничивание ПАВ	Угольная промышленность / Распыление / < 74 мкм	[48]
13	Альгинат натрия и гидроксипропилметилцеллюлоза / Дистиллированная вода	Персульфат аммония	Акриловая кислота; акриламид; метилен-бис-акриламида	– / 60 °С	Вязкость (4 МПа×с); поверхностное натяжение (4,5 мН/м) / – / 98 %	Экспериментальная платформа импульсного фильтра / Модификация импульсного фильтрования с помощью предложенного реагента	Угольная промышленность / Распыление (скорость 600–2400 м ³ /ч) / < 74 мкм	[49]
	На протяжении всей полимеризации вводили N ₂ , в качестве защитного газа							
14	Сапонин (50 %) + КПАВ (гексадеци-	–	Угольная суспензия	48 ч / 50–150 об/мин	Вязкость (0,3–0,84 Па·с); поверхност-	Теоретическая оценка по свойствам раствора /	Угольная промышлен-	[50]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
	лтриметиламмоний бромид) (40 %) / –		(Угольный порошок (55–65 %) + вода (45–35 %))		ное натяжение (33,6–40,2 мН/м); краевой угол (83–92 °); статическая устойчивость (появление мягкого осадка); pH (5–6) / – / –	Стабилизация суспензии с помощью раствора ПАВ	ность / – / 3,9–109,5 мкм	
15	Полиэлектролит (анионный сополимер акриловой кислоты и акриламида; анионная карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ)) (1–2 %) / –	KNO ₃ (1 %)	Вода (5 %)	– / –	Видимый отрыв пыли после обработки (менее 1 мг/мин) / Радиоактивность почвы (снижена с (4,9–179,3×10 ⁻⁶) Ки/м ³ до (0,1–4,1×10 ⁻⁶) Ки/м ³); прочность почвенно-полимерной корки (49 кПа) / –	Визуальная оценка ветровой эрозии в естественных условиях (скорость ветра 20–53 м/с) / Цельность почвенно-полимерной корки, отсутствие дефектов за счет применения полиэлектролита	Радиоактивная почва / Орошение с помощью спецтехники / –	[51]
16	Лигносульфонат (100–200 г/л) / –	Соли поливалентных металлов (2,5 г/л)	Интерполимерный комплекс (полимерный амин, олигомерный амин) (15–20 г/л)	– / –	– / Сопротивление прониканию обработанного грунта (0,16–0,98 МПа); потеря грунта (0,012 мг); потеря влаги обработанного грунта (0,25 л);	Измерение пыления в установке с принципом аэродинамической трубы (скорость ветра 25 м/с) / Повышение влагоудерживающих свойств и укрепление грунта, за счет приме-	Песчаный грунт / – / –	[52]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
					толщина поверхностного слоя (1,2–10,2 мм) / –	нения интерполимерного комплекса		
17	Целлюлоза (макулатура измельчалась, кипятилась в воде и водном растворе NaOH (4 %), затем фильтровалась в воронке с песчаным сердечником в абсолютном этаноле, затем высушивалась) (60 г/л) / Вода	ПВС; N–винилпирролидон; Персульфат аммония; тиосульфат калия	–	90 мин при 85 об/мин / 60 °С	Вязкость (300 МПа×с) / твердость корки (6–98 у.е.); толщина корки (3,42–4,29 мм); проницаемость корки (4–17 мм/мин); погодная устойчивость (5 циклов при t от +50 °С до –20 °С); прочность корки (30–39 кПа) / 88 %	Установка с имитацией дорожного покрытия (скорость ветра 5–15 м/с) / Образование защитной корки на пылящей поверхности	Угольная промышленность / Орошение / –	[53]
18	Полиэтиленоксид (1 г/л) / Вода	АПАВ	Пирен (2 мг/л)	– / –	Количество затонувших частиц в растворе реагента (500 мг и менее каждые 60 с); поверхностное натяжение (28,5–59,3 мН/м) / – / –	Теоретическая оценка по свойствам раствора / Образование гелеобразной пленки на поверхности угольной пыли	Угольная промышленность / – / –	[54]
19	Крахмал : Метилметакрилат : Акриламид (1:2:1) / Дистиллированная вода	Персульфат аммония : метилен двойной акрил амид	Гексадецил триметиламмония бромид	– / 60 °С	Краевой угол (37,5 °); сопротивление нагрузке (56,4 Н) / – / 80 %	Установка с имитацией дорожного покрытия (скорость ветра 2–12 м/с) / Образование кор-	Угольная промышленность / – / –	[55]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
		(1:1)	(КПАВ) (0,2 %)			ки		
20	Полиакриламид / Вода	–	–	– / –	Поверхностное натяжение (29,9–34,9 мН/м); вязкость (1,5–13 Па×с) / – / 63,99–79,95 %	Испытательный стенд для моделирования ветровой эрозии / Образование корки	Угольная промышленность / Распыление / 96–221 мкм	[56]
21	Лигносульфонат натрия : акриламид (2:7) / Дистиллированная вода	Додецил диметил бетаин (ПАВ) (0,15 %)	–	– / 65 °С	Вязкость (12,5–22,5 мПа×с); краевой угол (27,5–50 °) / – / –	Теоретическая оценка по свойствам раствора / Повышенные адсорбционные свойства реагента	Угольная промышленность / – / –	[57]
22	Калиевое или натриевое жидкое стекло (2–4 %) / Вода (94,5–97,49 %)	Метилстирольный латекс (СКМС-30РП) (0,5–1 %)	АПАВ (ПО-1) (0,01–0,5 %)	– / –	Константа скорости смачивания (0,0054–0,0065 К); снижение концентрации пыли (на 1,7–4,2 мг/м³); влажность пыли через сутки после обработки (5,3–5,7 %); расход реагента (3 л/м²) / – / –	Аэродинамическая камера (скорость воздуха 30 м/с) / Повышение структурообразующих и влагоудерживающих характеристик при введении метилстирольного латекса и АПАВ	Угольная промышленность / Орошение / 0–500 мкм	[58]
23	CaCl ₂ (80 %) / Вода	Натриевая соль КМЦ (20 %)	–	4–5 ч / 25–28 °С	Потеря массы при продуве в установке (с 250 г до 240 г); целостность слоя (85 %) / – / –	Испытательный стенд для моделирования ветровой эрозии (скорость потока воздуха 5 м/с в течение 3 мин) / Повы-	Угольная промышленность / Орошение (диаметр	[59]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
						шенные адсорбционные свойства реагента	распыляющей форсунки не менее 1 см) / –	
24	Азотсодержащее ПАВ (0,01–0,10 %) / Вода (99,9–99,99 %)	–	–	– / 20–25 °С	Время полного осаждения пыли (4–25 мин) / – / – <i>Показатели характеристик указаны диапазоном согласно концентрации компонентов в растворе</i>	Теоретическая оценка по свойствам раствора / Применение азотсодержащего ПАВ	Угольная промышленность / – / 70 мкм	[60]
25	Полимер (Винипол) (5 %) / Вода (94 %)	НПАВ (1 %)	–	– / –	Срок службы реагента (18 сут.) / – / 84,1 %	Стенд, имитирующий шахту (влажность 95–99 %, скорость ветрового потока 2 м/с, интенсивность пылеотложения 20–600 г/м³•сут.) / Агломерация частиц пыли, путем введения в состав винипола	Горная промышленность / – / –	[61]
26	Необработанный глицерин (45–90 %) / –	NaCl, KCl (2–15%), эфиры жирных кислот (0,5–3 %)	Вода (5–50 %)	– / –	Визуальная оценка по прилипанию частиц к оборудованию (не прилипает) / – / –	Визуальная оценка по прилипанию частиц к оборудованию / Препятствие агломерации частиц пыли на поверх-	Различные промышленные объекты с высоким пылевывделе-	[62]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
						ности металла, введение глицерина	нием при $t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ / – / –	
27	Контактированная глина – каолин (96–97 %) (состав каолина: битумы (0,5–1,2 %), смолы (0,8–1 %), минеральные масла (1,5–2 %)) / –	–	–	– / –	Толщина слоя реагента (2–3 см) / – / запыленность воздуха (не превышает ПДК)	Контроль запыленности воздуха на опытном участке дороги / Уплотнённый слой контактированной глины препятствует пылению	Автомобильные дороги со щебеночным покрытием / Грейдирование с последующей укаткой 2–3 раза / –	[63]
28	Композиционное вяжущее на основе додецилсульфата натрия / Вода	–	–	– / –	Поверхностное натяжение (28–47 мН/м); время проникновения на глубину от 2 до 5 см (1–30 мин) / – / –	Теоретическая оценка по свойствам раствора / Агломерация частиц пыли	Угольная промышленность / Орошение / 96–221 мкм	[64]
29	Гидроксипропил гуаровая камедь (0,08 %) / Вода	–	–	– / 60 °C	Вязкость (6,43–57,05 мПа·с); краевой угол (26,81–32,14 °) / – / увеличились с 64,78–65,52% до 83,94–84,08 %	Установка, имитирующая условия шахты / Снижение поверхностного натяжения раствора, агломерация пыли после обработки	Угольная промышленность / Орошение / –	[65]
30	Природный бишофит (минерал с общей формулой $\text{MgCl}_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$) / Вода	–	–	– / –	Расход реагента (днем 1,2–1,5 л/м ² , ночью 0,5–1 л/м ²); критическая скорость массового	Контроль пылеподавления на щебеночной дороге в карьерах Кривбасса (скорость ветра 8 м/с) / Двухэтап-	Щебеночная дорожное покрытие / Двухстадийная обработ-	[66]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
					уноса пыли (2–12 сут.) / Коэффициент пористости 0,22 на 1 м ² ; глубина концентрации пылевых частиц (0–20 мм) / –	ная обработка пылящего слоя автодороги повышает связывание пыли	ка с предварительным смачиванием поверхности / –	
31	Полиакриламид (0,1 %) / Вода	–	–	30–40 мин / 70–90 °С	Расход полиакриламида (90 г/м ²); поверхностное натяжение состава предварительного смачивания (34,58–34,99 мН/м); структура корки (пористая); запыленность воздуха (незначительна) / – / –	Оценка опытным путём в естественных условиях на карьерах (скорость ветра 4–10 м/с) / За счет стойкости защитной пленки к воздействию осадков, перепада температур, УФ-воздействию при отсутствии механических повреждений	Карьеры / Реактивные водовоздушные установки; предварительное смачивание поверхности раствором / –	[67]
	Раствор предварительного смачивания: сульфитно-спиртовая барда (ССБ) или смачиватель ДБ (0,1 %) / морская или пресная вода							
32	Сапропель (органическое минеральное удобрение почвы) (5–10 %) / Вода	–	–	– / –	Содержание фракции пыли 0,63–1,6 мм после обработки (снизилось до 30 %); биоэффективность (15 раст./см ²) / – / унос частиц на 3–5 м/с	Теоретическая оценка по свойствам раствора / Агломерация частиц пыли	Карьеры / – / 0,071–1,6 мм	[68]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
33	Негашеная кальциевая известь (4–5 %) (время гашения извести – 14 мин) / –	Пульпа – хвосты ГМЗ : вода (1:3)	–	20–30 мин / –	Расход реагента (50 кг извести на 1000 кг хвостов); коэффициент защиты (2,75–16,20 ед.); pH смеси (11,1–12,8) / Предел прочности на сжатие (0,068–0,405 МПа); водопропрочность (0,60); коэффициент внутреннего трения (0,510–0,550 ед) / – <i>Показатели характеристик указаны диапазоном согласно концентрации компонентов в растворе</i>	Аэродинамическая камера (скорость ветра 15–16 м/с) / Повышение влагоудерживающих свойств, за счет введения в состав известь	Хвостохранилища / – / –	[69]
4	<i>Раствор I стадии обработки:</i> Меловая суспензия (5 %) / Вода	–	–	– / –	Потеря массы при продуве в установке (0,04 % от общей массы); период об-	Аэродинамическая камера (скорость ветра до 10 м/с) / Образование корки гипсоподобного	Хвостохранилища / Двухстадийная обработ-	[70]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющего раствора / соотношение			Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства раствора / Свойства пылящей поверхности / Эффективность пылеподавления	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Основной компонент / Растворитель	Модификатор основного компонента	Функциональный дополнительный компонент					
	<i>Раствор 2 стадии обработки:</i> Раствор H ₂ SO ₄ (10 % от массы суспензии) / Вода				разования защитной пленки (7–8 сут.) / – / –	состава после реакции меловой суспензии и H ₂ SO ₄	ка / –	
35	ПАВ (0–1 %) / Вода	–	–	–	Поверхностное натяжение (30–72 мН/м) / – / –	Теоретическая оценка по свойствам раствора / –	Угольная промышленность / – / –	[71]
36	АПАВ (0–9 %) / Вода	–	–	–	Поверхностное натяжение (25–72,5 мН/м); время смачивания (не менее 20,5 с) / – / –	Теоретическая оценка по свойствам раствора / Снижение поверхностного натяжения, путем введения АПАВ	Угольная промышленность / – / –	[72]
37	Пластификатор адипиновый щелочной (ПАЩ) (10 %) / Вода (70 %)	Порошкообразная келловейская глина (20 %)	–	– / –	Толщина защитной корки (3–4 мм) / – / –	Теоретическая оценка на основании взаимодействия компонентов / Влагоудерживающие свойства, путем введения ПАЩ (вовлекает до 30 % влаги), образование корки на пылящей поверхности	Хвостохранилища / – / –	[73]

Анализ состава и свойств пылеподавляющих пен на водной основе

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей пены / соотношение		Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства пены / Запыленность воздуха	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / Способ нанесения на грунт / Фракция пыли, мкм	Ссылка на источник
	Основной компонент / растворитель	Модификатор основного компонента					
38	Нафтенат натрия (0,4 % и 0,8 %) / морская и пресная вода	Инертные и водорастворимые газы (CO ₂ , SO ₂ , N ₂ , дымный газ, воздух) (60:80 / 40:20)	– / –	Устойчивость пены при t от –5 до +35 °С (8–22,8); оптимальный показатель после использования пены на пылящей поверхности: влажность 20 % / не более 5 мг/м ³	Изменение запыленности от влажности воздуха / Изменение pH и увеличение устойчивости пены	Горная промышленность / пневмогидроорошающие установки / –	[74]
39	ПАВ (К, SDBS, K12, FMEE, AES) (0,03 %, 0,05 %, 0,08 %, 0,10 %, 0,12 %, 0,15%, 0,20 %) / вода	–	– / 21 ± 1 °С	Радиус пузырьков пены (До 0,016–0,436 мм, после намагничивания 0,016–0,506 мм); стабильность пены (повышена на 29 % после намагничивания); скорость вспенивания (до 39,5–43 с, после намагничивания 37–42 с); степень расширения пены после намагничивания (8–30) / –	Математическая оценка по спектру свойств пены / Однородная и устойчивость пены за счет намагничивания	Угольная промышленность / – / –	[75]
40	Пенообразователь (0,5–2 %) / вода	–	– / –	Степень расширения пены (30–45); кажущаяся вязкость пены (715 МПа×с); видимость с водительского места (7,5 м) / 76–87,90 %	Изменение концентрации пыли в воздухе с помощью мониторов запыленности / Повышение адгезионных свойств пены	Угольная промышленность / Вспенивающая установка / –	[76]
41	α-олефинсульфонат натрия (0,1 %) / Вода	Карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) (800 мг/л)	– / комнатная температура	Средний радиус пузырьков пены (0,13–0,16 мм); однородность пены (стандартное отклонение размеров пузырьков 0,1–0,2 % – однородная пена); время разложения пены (15 мин) / –	Теоретическая оценка на основании свойств пены / достижение однородной структуры при введении КМЦ	Угольная промышленность / – / –	[77]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей пены / соотношение		Длительность перемешивания / температура перемешивания	Свойства пены / Запыленность воздуха	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / Способ нанесения на грунт / Фракция пыли, мкм	Ссылка на источник
	Основной компонент / растворитель	Модификатор основного компонента					
42	Сульфитно-спиртовая барда (ССБ) (20–50 %) / Вода (7,5–67,5 %)	Аммиак (2,5–15 %), перекись водорода (20–40 %)	– / –	Кратность пены (1:50–1:95) / –	Теоретическая оценка на основании свойств пены / Создание высокочрезмерной пены	Горная промышленность при $t < 0^\circ\text{C}$ / – / –	[78]
43	Сульфитно-спиртовая барда (0,5–5 %) / Вода (99–93,5 %)	Полидиметилдиаллил аммоний хлорид, соли алкилароматических сульфокислот (0,5–1,5 %)	– / –	Запыленность воздуха. Смачиваемость / –	Изменение запыленности воздуха / Подбор состава, увеличение смачиваемости пыли	Горная промышленность / пеногенератор / –	[79]
44	ПАВ / Вода	–	– / –	Ветровая эрозия. Изменение массы под действием ветровой нагрузки / –	Ветровая эрозия / Изменение массы при испытаниях в опытной установке	Угольная промышленность / – / –	[80]
45	α -олефинсульфонат натрия (0,3, 0,6, 1,0 и 1,5 %); полиоксиэтиленоктилфеноловый эфир-10 0,1, (0,3, 0,6, 1,0 и 1,5 %) / Вода	ПВС (0,1–0,3 %); полиакриламид (0,1–0,3 %); гидроксипропилцеллюлоза (0,1–0,3 %)	– / комнатная температура	Краевой угол смачивания (18 – 55° и 33 – 53°); поверхностная вязкость (1 – 8 мН/м); скорость дренажа пены (3 – 16 мл/с $\times 10^{-2}$ – стабильная пена); поверхностное натяжение ($32,8$ – $38,9$ мН/м) / –	Теоретическая оценка на основании свойств пены / Стабилизация пены, повышение гидрофильности при введении полимеров	Угольная промышленность / – / –	[81]
46	Додecilсульфат натрия / –	ПВС; сульфат		Термодинамический фактор устойчивости; поверхностное натяжение	Математическая оценка по спектру свойств пены / Утолщение пенной пленки	Угольная промышленность / – / 20,28	[82]

Анализ состава и свойств пылеподавляющих эмульсий на водной основе

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей эмульсии / соотношение					Последовательность введения компонентов / длительность эмульгирования / температура эмульг.	Свойства эмульсии / Эффективность обеспыливания	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Дисперсная фаза (А)	Дисперсионная среда (Б)	Эмульгатор (В)	Модификатор дисперсионной среды (Г)	Модификатор дисперсионной фазы (Д)					
Пылеподавляющие эмульсии с битумной дисперсной фазой										
47	Нефтяной битум (20–25 %)	Вода	Щелочной раствор сульфанола НП-1 (0,6 %)	NaOH (0,05 %)	–	В → Г → Б → А / – / –	Удельный расход обеспыливающего состава (эмульсии 6 л/м, суспензии 6 л/м); толщина защитной пленки (8 мм); водоустойчивость (отличная) / 98,6 %	Аэродинамическая камера / Образование корки	Угольная промышленность / Двухстадийное нанесение обеспыливающего состава / –	[83]
	Суспензия (50–60% вода + остальное пыль пылящей поверхности)									
48	Анионная битумная эмульсия класса ЭБА-3 (50 %)	–	–	–	Латекс (7% от массы эмульсии)	Д → А / – / –	Расход эмульсии (2 л/м²); толщина пленки (0,5–1 см); морозостойкость (30 циклов) / –	Аэродинамическая труба (скорость ветра до 20 м/с) / Введение латекса повышает характеристики пленки	Золоотвалы ТЭС / распыление эмульсии под давлением с предварительным разрыхлением поверхности золоотвала на глубину 1–1,5 см / –	[84]
49	Катионная битумная эмульсия (ЭБК-3) (36–38 %)	Вода	–	–	Сухая зола уноса ТЭЦ (30–40 %)	Д → Б → А / – / –	Расход суспензии при вторичной обработке (1,8–2 л/м²); общий расход ЭБК-3 (2,75 л/м²); отсев дробления крупного песка (150–300	Визуальная оценка по уровню запыленности воздуха / весовой способ (просасывании воздуха через	Щебеночные, гравийные, грунтовые дорожные покрытия / Предварительное увлажнение; 2 стадии: (битумная эмуль-	[85]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей эмульсии / соотношение					Последова- тельность вве- дения компо- нентов / длительность эмульгирова- ния / темпера- тура эмульг.	Свойства эмульсии / Эффективность обеспыливания	Метод оценки пылеподавле- ния / Достиже- ние эффектив- ности обеспыливания	Область примене- ния / способ нане- сения на грунт / фракция пыли	Ссыл- ка на источн ик
	Дис- персная фаза (А)	Дисперси- онная сре- да (Б)	Эмульгатор (В)	Модифи- катор дис- персион- ной среды (Г)	Модифика- тор дисперс- ной фазы (Д)					
							г/м ²); общая толщи- на слоя (8–10 мм) / –	бумажные фильтры типа АФА-В-10 с помощью аспи- рационного прибора). Кон- центрация пыли в воздухе опре- деляли по фор- муле	сия → эмульсион- но-зольная суспен- зия) → посыпка из крупного песка / –	
	Битумная эмульсия						Расход эмульсии при первичной об- работке (2 л/м ²); толщина слоя (3–5 см) / –			
Пылеподавляющие эмульсии с полимерной дисперсной фазой										
50	Лак ПЭ- 064 (75– 82 %)	Вода (3–5 %)	–	Эти- ленгли- коль (15– 20 %)	–	А → Б → Г / 60–80 об/мин / 20 °С	Размер частиц (70– 90 мкм); массовая доля нелетучих ве- ществ (43–47 %); вязкость (10–25 с); время высыхания (3 ч); эластичность при изгибе (1 мм); твёрдость пленки (0,2–0,3 у.е) / –	Твёрдость пленки на эро- зионной по- верхности / До- стижение твёрдости плен- ки за счет вве- дения эти- ленгликоля	Мучные фабрики, ТЭЦ, ГЭЦ / – / –	[86]
51	Акрило- вая дис- персия (50 %) (сополи- мер ви-	Вода	ПАВ (Ал- килсуль- фат) (1,8 %)	Олигомер полиэти- лена (1,4 %)	Оксиэтил- целлюлоза (0,8 %)	А → Г → Д → В → Б / – / –	Плотность состава (1,049 г/см ³); по- верхностное натя- жение (68,4 мН/м); краевой угол смачи- вания (23 °); сроки	Аэродинамиче- ская камера (поток воздуха на образцы в течение 50 ча- сов) / образова-	Хвостохранилища, золоотвалы, отвалы горных пород, ра- диоактивно загряз- ненные территория / – / –	[87]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей эмульсии / соотношение					Последовательность введения компонентов / длительность эмульгирования / температура эмульг.	Свойства эмульсии / Эффективность обеспыливания	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Дисперсная фаза (А)	Дисперсионная среда (Б)	Эмульгатор (В)	Модификатор дисперсионной среды (Г)	Модификатор дисперсионной фазы (Д)					
	нилацетата с виниловыми эфирами карбоновых кислот)						схватывания (начало 9 мин, конец 1,3 часа) устойчивость к эрозии (не менее 9,2%); расход реагента (1–1,5 л/м ²); толщина защитной пленки (1–1,5 см) / –	ние полимерной пленки		
52	Лигносульфонат (5 %)	Вода	–	–	Латекс СКМС–30РП (0,5 %)	Д → Б → А / – / –	Расход состава (2 л/м ²) / запыленность воздуха (3–47 мг/м ³)	Запыленность замеряли пылезамером «АЭРА» (скорость ветра до 23 м/с) / Увеличение пылесвязующего эффекта введением латекса	Горная промышленность / Поливомоечная машина / –	[88]
53	Гуаровая камедь	Деионизированная вода	Гидрокарбонат натрия	Безводный этанол	Цианурхлорид + Гидрокарбонат натрия	А → Д → Б → В → Г / – / 60 °С	Прочность на сжатие (29 кПа); скорость испарения в сушилке (0,027 % за 10 ч); определение естественной разлагаемости (60 % потеря массы через	Скорость испарения в вакуумной сушилке / Агломерация частиц пыли, что сокращает скорость испарения	Угольная промышленность / – / –	[89]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей эмульсии / соотношение					Последовательность введения компонентов / длительность эмульгирования / температура эмульг.	Свойства эмульсии / Эффективность обеспыливания	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Дисперсная фаза (А)	Дисперсионная среда (Б)	Эмульгатор (В)	Модификатор дисперсионной среды (Г)	Модификатор дисперсионной фазы (Д)					
							один месяц) / –			
54	Концентрат сульфитно-дрожжевой бражки (СБД) (18–24 %)	Вода	–	–	Растворимая древесная смола (6–27 %)	– / 10 мин / комнатная	Вязкость (5,7–4,5 с); глубина проникновения эмульсии при 20 °С (15–16 мм); время проникновения эмульсии (3–1,5 мин); остаточная влажность после 28 сут. хранения в воздушной среде (4,9–5,5 %) / – <i>Показатели характеристик указаны диапазоном соответствующих концентраций компонентов в эмульсии</i>	Исследование воздушно-сухого хранения при комнатной температуре / Повышение остаточной влажности, за счет введения древесной смолы	Дорожные и аэродромные покрытия / – / –	[90]
55	Дитретичный бутил фенол (0,1–0,2 %)	Вода	–	–	Полимер (полибутил-метакрилат) (1 %)	– / – / 25°С	Температура заморозания (кристаллизация) (–7,2 °С); время охлаждения до заморозания (65 мин) / 86,9 %	Стендовая установка (температура воздуха от –25 до 15–19 °С, относительная влажность от 68 до 95–99 %, скорость воздуха 2	Угольная промышленность / Распыление / –	[91]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей эмульсии / соотношение					Последовательность введения компонентов / длительность эмульгирования / температура эмульг.	Свойства эмульсии / Эффективность обеспыливания	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Дисперсная фаза (А)	Дисперсионная среда (Б)	Эмульгатор (В)	Модификатор дисперсионной среды (Г)	Модификатор дисперсионной фазы (Д)					
								м/с интенсивность пылеподавления 20–600 г/м ³ сут) / Оптимизация соотношения компонентов		
56	Дитретичный бутифенол (0,05–0,1 %)	Вода	–	ПАВ (смесь натриевых солей алкиларилсульфокислот) (0,05–0,1 %)	Полиакриламид (0,5–1 %)	A → Д → Б → Г / – / –	Визуальный критерий: кинетически стойкая эмульсия / –	Теоретическая оценка на основании свойств эмульсии / Образование пленки или корки на поверхности пыли, за счет введения в состав ПАВ	Добыча и переработка полезных ископаемых / – / –	[92]
57	КОРС (кубовый остаток ректификации стирола) (30–70 %)	Вода	Натриевые соли жирных кислот или ПВС (0,2–0,6 %)	–	–	– / – / –	Морозостойкость (30 циклов); концентрация пыли 0 мг/м ³ после обработки; продолжительность обеспыливающего действия (1–6 мес.); расход эмульсии (1,2 л/м ²); толщина	Аэродинамическая камера (скорость потока воздуха 20,4 м/с) / Образование пленки на поверхности пыли, за счет полимеризации КОРС	Грунты различного гранулометрического состава от песчаных до суглинистых / Распыление / Влажность грунта (песок 2–10 %, супесь и суглинок 4–8 %). –	[93]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей эмульсии / соотношение					Последова- тельность вве- дения компо- нентов / длительность эмульгирова- ния / темпера- тура эмульг.	Свойства эмульсии / Эффективность обеспыливания	Метод оценки пылеподавле- ния / Достиже- ние эффектив- ности обеспыливания	Область примене- ния / способ нане- сения на грунт / фракция пыли	Ссыл- ка на источн ик
	Дис- персная фаза (А)	Дисперси- онная сре- да (Б)	Эмульгатор (В)	Модифи- катор дис- персион- ной среды (Г)	Модифика- тор дисперс- ной фазы (Д)					
							защитной пленки (3–4 мм); срок жиз- ни эмульсии (5 сут.) / –			
58	Суль- фитно– дрожже- вая бражка (СДБ) (15–25 %)	Вода	–	–	Соапсток растительно- го масла (14– 26 %)	– / 3–5 мин / 60–70°С	Скорость смачива- ния (40–44 мг/с); краевой угол смачи- вания (23–18°); кор- розионное воздей- ствие на метал (не наблюдается); рас- ход эмульсии (1,2– 1,8 л/м ²) / –	Теоретическое обоснование на основании свойств эмуль- сии / Гигроско- пичность, за счет введения неорганической соли	Горнодобывающая промышленность / – / –	[94]
	NaNO ₃ (вводится в полученную эмульсию, непосред- ственно перед ее использованием) (0,4–1,8 %)						Показатели харак- теристик указаны диапазоном соот- ветствующих кон- центраций компо- нентов в эмульсии			
59	Алкило- вы эфир жирных кислот (5–20 %)	Вода (10 %)	АПАВ (2– 20 %)	Сополи- мер на ак- риловой основе (30–95 %)	Ксантановая камедь (3 %)	В → А → Д → Б → Г / 60 мин / –	Поверхностное натяжение (0,03 Н/м); влагоудержа- ние (влажность по- сле нанесения на поверхность – 6,06 %, 48 ч – 6,41 %, 72 ч – 10,7 %, 10 дней	Теоретическое обоснование на основании свойств эмуль- сии / Повыше- ние влагоудер- жания эмульсии	Дорожное покры- тие / –	[95]

№ п/п	Компоненты пылеподавляющей эмульсии / соотношение					Последовательность введения компонентов / длительность эмульгирования / температура эмульг.	Свойства эмульсии / Эффективность обеспыливания	Метод оценки пылеподавления / Достижение эффективности обеспыливания	Область применения / способ нанесения на грунт / фракция пыли	Ссылка на источник
	Дисперсная фаза (А)	Дисперсионная среда (Б)	Эмульгатор (В)	Модификатор дисперсионной среды (Г)	Модификатор дисперсионной фазы (Д)					
							– 3,71 %) / 77–78 %			
60	Водная эмульсия (DCL–1803)	Вода (разбавление водной эмульсии до 0,5 %)	–	Гидрофобизирующая жидкость (керосин) (1:1)	–	– / – / –	Время пылеподавляющей способности (3 месяца) / –	Время пылеподавляющей способности / –	Угольная промышленность / 2 стадии: орошение раствором эмульсии → нанесение каменной пыли / менее 10 мкм	[96]
61	Катионный сополимер (50 %)	–	Диметиламиноэтил Акрилат (42 %)	–	Акриламид (58 %)	– / – / –	Остаток пыли в течение 2–14 мин после обработки (65,7 %) / –	Теоретическая оценка на основании остатка пыли после обработки / Обработка композицией из двух эмульсий	Песчаные, грунтовые дороги, угольные шахты, глиняные или цементные поверхности / Композиция из эмульсий (соотношение эмульсий в композиции 33–66 %)/ –	[97]
	Анионный полимер	–	Акрилат натрия	–	Акриламид		Показатели характеристик указаны диапазоном соответствующих концентраций компонентов в эмульсии			
62	ВМС (0,3 %)	Вода	–	–	–	А → Б / – / –	Поверхностное натяжение (73 %); плотность (1345 г/см ³) / –	Теоретическая оценка по свойствам эмульсии / Зависит от количества ВМС	Горнодобывающая промышленность / Орошение / > 10 мкм	[98]

Приложение Г

**Титульный лист технологического регламента на производство эмульсии
алкидной смолы на водной основе для пылеподавления**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. В.Г. ШУХОВА**

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной
и инновационной деятельности,
д-р техн. наук, профессор
Т.М. Давыденко
«6» сентября 2022 г.



ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РЕГЛАМЕНТ
на производство пылеподавляющей эмульсии алкидного олигомера
на водной основе

СОГЛАСОВАНО

Генеральный директор
ООО Завод «Краски КВИЛ»
К.В. Ковалев
«6» сентября 2022 г.

**РАЗРАБОТАНО**

Научный руководитель:
д-р. техн. наук, профессор
В.В. Строкова
«6» сентября 2022 г.
Исполнители:
Канд. техн. наук, доцент
Е.Н. Губарева
«6» сентября 2022 г.
Канд. техн. наук, доцент
И.Ю. Маркова
«6» сентября 2022 г.
Научный сотрудник
Э.М. Ишмухаметов
«6» сентября 2022 г.
Инженер
А.Ю. Есина
«6» сентября 2022 г.

Белгород 2022 г.

Акт выпуска опытной партии эмульсии для пылеподавления**ООО Завод «Краски КВИЛ»**

308023, Россия
г. Белгород, ул. Студенческая, 50
тел. +7(4722) 400-167; 400-168
e-mail: info@kvil.ru; www.kvil.ru

АКТ**Выпуска опытной партии пылеподавляющей эмульсии**

Комиссия в составе: **представители ООО Завод «Краски КВИЛ»:**

генеральный директор К.В. Ковалев

представители от БГТУ им. В.Г. Шухова:

д-р техн. наук, профессор В.В. Строкова

канд. техн. наук, доцент Е.Н. Губарева

канд. техн. наук, доцент И.Ю. Маркова

научный сотрудник Э.М. Ишмухаметов

инженер А.Ю. Есина

участвовала в выпуске опытных партий пылеподавляющей эмульсии алкидного олигомера на водной основе, изготовленных на действующей технологической линии.

Выпущенная продукция соответствует требованиям ГОСТ 33290-2015. Разработанные составы приняты к внедрению, продукция будет производиться при наличии соответствующих заказов со стороны потребителей.

От ООО Завод «Краски КВИЛ»



К.В. Ковалев

от БГТУ им. В.Г. Шухова

В.В. Строкова

Е.Н. Губарева

И.Ю. Маркова

Э.М. Ишмухаметов

А.Ю. Есина

21.10.2022

Протокол о намерениях
ПРОТОКОЛ О НАМЕРЕНИЯХ

г. Белгород

« 7 » ноября 2022г.

Пылеподавляющие эмульсии алкидного олигомера на водной основе являются реагентами для обработки пылеобразующих дисперсий, способствующие связыванию частиц пыли как на поверхности дисперсии, так и в ее толще, с образованием защитного консолидированного полимерного слоя.

В диссертационной работе Ишмухаметова Э.М. доказана эффективность использования алкидного глифталевого олигомера при синтезе эмульсии на водной основе для применения ее в качестве пылеподавляющего реагента на пылеобразующих дисперсиях, подверженных ветровой эрозии. Нанесение указанного реагента приводит к консолидации частиц пыли на поверхности пылеобразующей дисперсии за счет пленкообразования алкидного водного покрытия. Это способствует повышению устойчивости дисперсных систем к ветровой эрозии.

В связи с вышеизложенным, мы, нижеподписавшиеся директор ООО Завод «Краски КВИЛ» Ковалев К.В. и первый проректор ФГБОУ ВО Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова д.т.н., проф. Е.И. Евтушенко, составили настоящий протокол о том, что результаты работы по разработке пылеподавляющей эмульсии алкидного олигомера на водной основе приняты к внедрению согласно технологическому регламенту и будут производиться при наличии соответствующих заказов со стороны потребителей.

Генеральный директор
ООО Завод «Краски КВИЛ»



К.В. Ковалев

Первый проректор
ФГБОУ ВО БГТУ им. В.Г. Шухова



Е.И. Евтушенко

Справка о внедрении результатов работы в учебный процесс**УТВЕРЖДАЮ**Проректор по цифровой
трансформации и образова-
тельной деятельности

БГТУ им. В.Г. Шухова,

канд. техн. наук, доцент

В.М. Поляков

17 февраля 2023 г.**СПРАВКА****о внедрении результатов научно-исследовательской работы
в учебный процесс**

Теоретические положения, результаты экспериментальных исследований и промышленной апробации, полученные при выполнении диссертационной работы Э.М. Ишмухаметова «Разработка и коллоидно-химические свойства алкидной эмульсии для пылеподавления», используются в учебном процессе при подготовке бакалавров по направлению 18.03.01 «Химическая технология», 18.03.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии», магистров по направлению 28.04.03 «Нanomатериалы», что отражено в рабочих программах дисциплин «Коллоидная химия», «Физическая и коллоидная химии», «Общая технология наносистем и наноматериалов» и «Современные модификаторы композиций различного назначения и состава».

Зам. зав. кафедрой теоретической
и прикладной химии,
канд. хим. наук, профессор

Л.В. Денисова

Зам. зав. кафедрой материаловедения
и технологии материалов,
канд. техн. наук, доцент

Л.Н. Бозман