

На правах рукописи



ИШМУХАМЕТОВ ЭДУАРД МИНИАХМЕТОВИЧ

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

1.4.10. Коллоидная химия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Белгород – 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова»

Научный руководитель

Строкова Валерия Валерьевна

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты

Пахомов Павел Михайлович

доктор химических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Тверской государственный
университет», заведующий
кафедрой физической химии

Королёва Марина Юрьевна

доктор химических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Российский химико-
технологический университет
им. Д.И. Менделеева», исполняющий
обязанности заведующего кафедрой
наноматериалов и нанотехнологии

Ведущая организация

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский
государственный технологический
институт (технический университет)»

Защита состоится «12» декабря 2023 г. в 11:00 на заседании диссертационного совета 24.2.276.01 при ФГБОУ ВО «Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова». Адрес: 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46, ауд. ГК 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БГТУ им. В.Г. Шухова и на сайте: http://gos_att.bstu.ru/dis/Ishmuhametov

Автореферат разослан «12» октября 2023 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



В.А. Полуэктова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 последующего 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

смола 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 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 алкидной 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 за-

пыленности 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 «Наноматериалы».

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 (четырёх глав), заключения, списка литературы, приложений. Результаты изложены на 200 страницах машинописного текста, включающего 27 таблиц, 36 рисунков, список литературы из 158 источников, 7 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

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 пылящих объектов позволил провести ранжирование реагентов различной морфологической структуры по сложности технологии получения, эффективности захвата пыли в процессе обработки пылящей поверхности, длительности действия ПС с учетом протекания физико-химических процессов взаимодействия основных компонентов реагента с частицами ПД.

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 прочную полимерную пленку. Кроме того, от вязкости напрямую зависит технологичность пылеподавляющей эмульсии (возможность применения распылительных систем и установок промышленного типа) и скорость проникновения алкидного полимера в толщу пылящей дисперсии.

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 *научной гипотезой* данного исследования.

Для подтверждения выдвинутой гипотезы в ходе исследования были использованы следующие сырьевые компоненты. В качестве дисперсной фазы использовалась алкидная смола ГФ–0123, в состав которой входит раствор в органических растворителях глицеринового полиэфира фталевой кислоты, модифицированный растительными маслами или жирными кислотами талового масла (смола соответствует ГОСТ Р 52165-2003; производитель Allnex Belgorod LLC). Дисперсионной средой являлась вода. В качестве эмульгатора, повышающего срок жизни и регулирующего уровень pH получаемой эмульсии, в работе исследовались НПАВ: IVP-314 (аминоэфир жирной кислоты); АМР-95 (2-амино-2-метил-1-пропанол); ПВС (поливиниловый спирт). Для

отверждения алкидной эмульсии использовались сиккативы кобальта и циркония. В качестве модификаторов границы раздела фаз и улучшения последующего пленкообразования проанализированы коалесцирующие добавки: этиленгликоль, глицерин и пропиленгликоль.

В качестве подложки для нанесения алкидной эмульсии с целью оценки ее пленкообразующей и пылеподавляющей способностей использовались две поверхности с различной морфологией – стекло и модельная дисперсия кварц-каолинитового состава, соответственно. Для получения последней использовали каолиновую глину Латненского месторождения и кварц пылевидный марки Б (ООО «ОПТб»). 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).

Анализ неорганической модельной пылеобразующей дисперсии (ПД).

Модельную ПД получали путем перемешивания до однородности пылевидного кварца с $S_{уд}=4270 \text{ см}^2/\text{г}$ и каолиновой глины с $S_{уд}=9700 \text{ см}^2/\text{г}$ в пропорции 3/1. ПД характеризуется низкой пористостью, естественной влажностью смеси 1 %, размером частиц от 0,1 до 100 мкм и, согласно классификации, представляет собой неорганическую полиминеральную смесь мелко- и среднедисперсной пыли, неслипавшуюся ($P=39 \text{ Па}$) и хорошо смачиваемую ($\theta_c=36^\circ$). По коллоидно-химическим свойствам модельная дисперсия характеризуется высокими значениями сорбционной емкости ($A_T=84,7 \text{ мг/г}$), циклично изменяющимися с течением времени, и донорно-акцепторной способностью ($Q_{pka}=270,3 \text{ ммоль/г}$).

Свойства и эмульгирующая способность алкидной смолы. Анализ свойств алкидной глифталевой смолы показал соответствие продукта ТУ 20.16040-001-22221575-2018: твердость – 0,37 у.ед., время высыхания до степени 3 – 22 ч, массовая доля нелетучих веществ – 52 %, условная вязкость, ВЗ-246, 4 мм – 152 с. Кроме того, площадь отслоений не превышает 15 % площади решетчатого надреза (адгезия 1 балл). Диаметр стержня, при изгибании образца, на котором пленка осталась не поврежденной – 1 мм, что свидетельствует об удовлетворительной эластичности.

Определение способности алкидной смолы к эмульгированию в воде оценивали при ее введении в количестве от 10 до 90 масс.% (далее по тексту %) с шагом 10 %, скорости перемешивания 5000 об/мин в течение 10 минут. Поскольку под действием центробежной силы лиофобный коллоидный раствор способен к коалесценции, что позволяет рассмотреть слои с точки зрения состава эмульсии, срок жизни эмульсий определяли путем их центрифугирования в лабораторной центрифуге Liston C2205 в течение 6 мин при 3000 об/мин и последующей оценкой дисперсных систем на предмет расслоения.

Анализ результатов показал, что у образцов с концентрацией алкида 40–90 % отсутствует видимое расслоение; при повышении концентрации алкида процесс расслоения менее выражен, что объясняется лишь количественным преобладанием дисперсной фазы над дисперсионной средой эмульсии. При эмульгировании состава с 50 % дисперсной фазы наблюдалось набухание алкидной смолы, что не позволило проводить дальнейшие исследования в пределах этой концентрации. При концентрациях от 10 до 30 % наблюдается расслоение эмульсии, что происходит в результате преобразования коллоидных систем вследствие слияния капель и образования более крупных агрегатов, впоследствии такие агрегаты стремятся к оседанию. Объясняется это тем, что в состав алкида входит смесь масел, многоосновных спиртов и кислот, в результате, из-за неравномерного растворения компонентов алкида в воде, происходит разделение этих веществ с получением дисперсий с полидисперсностью. На основании оценки размера, качества и степени равномерности распределения частиц дисперсной фазы по объему в зависимости от состава, установлено преобладание моноразмерности в составе с 30 % алкида, который и был принят как начальный для подбора параметров эмульгирования.

Подбор параметров эмульгирования алкидной смолы. Обеспечение эффективности пылеподавления возможно путем применения концентрированных эмульсий с наименьшим размером капель, наименьшей вязкостью и наибольшим сроком жизни (устойчивости к расслоению). Для достижения требуемых характеристик проведена оценка пяти способов получения базового состава (основы) полимерной эмульсии (рис. 1), отличающихся: последовательностью введения компонентов (алкидной смолы (в диапазоне 15–65 %), ПАВ (АМР-95 – 0,1 масс.% от алкида взамен) и воды), температурой, скоростью и временем перемешивания и эмульгирования. Контролируемыми параметрами в ходе исследования являлись: срок жизни, условная вязкость и размер капель.

Оценка I способа эмульгирования показала влияние количества дисперсной фазы эмульсии на ее свойства. Так, при содержании алкида 15 % происходит расслоение эмульсии с отделением дисперсионной среды, что свидетельствует об ее избыточном содержании в водном растворе ПАВ. При этом размер капель варьируется в диапазоне 15–60 мкм. С увеличением алкида до 30 % размер капель снижается до 8 мкм (рис. 2, а). Повышение содержания алкида свыше 30 % приводит к расслоению системы, так же, как и при низких его дозировках, поэтому для I способа были оценены значения по вязкости и сроку жизни при концентрации алкида от 15 до 30 с шагом 5 %. Ввиду этого, увеличение содержания алкида в системе от 15 до 30 % приводит к увеличению срока жизни эмульсии (с 1 до 7 дней), что можно связать с уменьшением размера капель эмульсии и повышением вязкости (с 60 до 75 с), что является фактором высокой агрегативной устойчивости. Таким образом, получение максимально стабильной и высокодисперсной эмульсии I способом возможно при соотношении компонентов –

29,9 % ГФ-0123, 0,1 % ПАВ, 70 % вода. Однако высокое значение вязкости и малое количество алкидного лака в составе эмульсии не обеспечит требуемые технологические свойства данного состава как эффективного пылеподавителя.

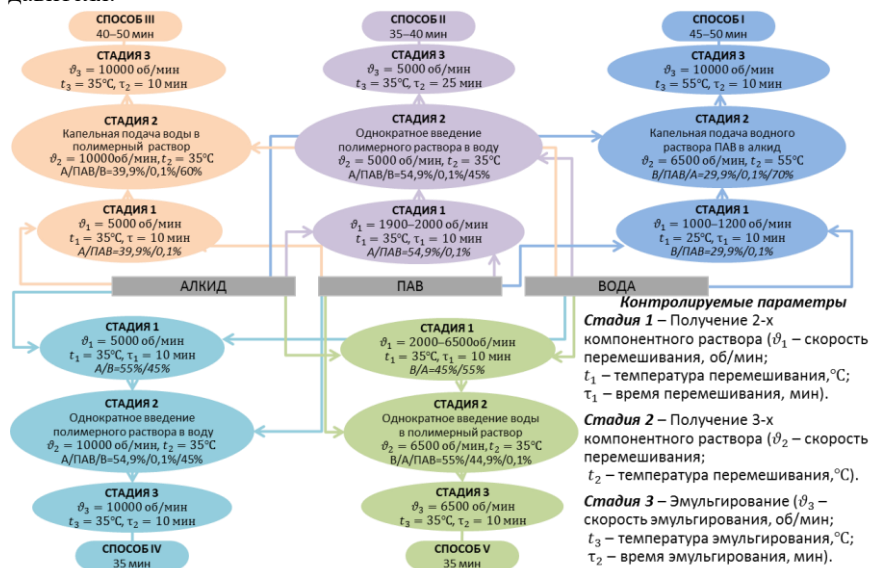


Рисунок 1 – Способы и контролируемые параметры получения алкидной эмульсии

При оценке эффективности параметров эмульгирования II способом было важно оценить влияние температуры эмульгирования на 1 и 2 стадиях приготовления эмульсии. Увеличение содержания алкида до 50 % при снижении температуры до 35°C обеспечивает равномерность распределения алкида по объему с близкими к монодисперсности (15–20 мкм) каплями алкидной смолы. Это можно объяснить отделением связанной в каплях алкида сольubilизированной воды, которая является фактором сильного трения, обеспечивая высокую вязкость. Снижение температуры эмульгирования приводит к увеличению объемной доли дисперсной фазы при уменьшении как размера частиц, так и объема межфазных слоев. Это приводит к повышению срока жизни и более равномерному распределению капель. Следующим этапом стало увеличение содержания алкида в эмульсии, полученной II способом, с 50 до 65 % с шагом 5 %. При увеличении содержания алкидной смолы в системе вязкость растет с 20 до 33 с соответственно. Срок жизни эмульсии при введении раствора алкидной смолы с ПАВ в воду в зависимости от содержания алкидной смолы составил: при 50 % – 4 дня, 55 % – 8 дней, 60 % – 3 дня, 65 % – 2 дня. Наибольшей однородностью и монодисперсностью при минимальных размерах капель (17 мкм) характеризуется состав с 55 % алкида (рис. 2, б).

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 (рис. 2), в результате формируется нестабильная система со сроком жизни 3 часа, вязкостью 20 и 70 с при способе IV и V соответственно. В эмульсиях, полученных III, IV и V способами, отсутствуют четко выраженные капли алкида (рис. 2, в, г, д), что не позволяет оценить уровень их дисперсности. Срок жизни эмульсии сокращается за счет высокой коалесценции глобул и уплотнения адсорбционно-сольватного слоя, что приводит к нарушению адсорбционно-сольватного равновесия.

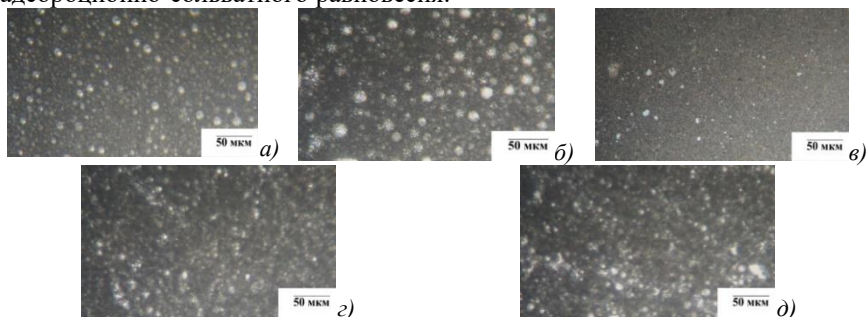


Рисунок 2 – Изменение структуры эмульсий в зависимости от состава и способа получения: а–д – способы I–V соответственно

Сравнение стадийности введения ПАВ (табл. 1) – 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. При сравнении последовательности введения компонентов «вода в алкид» (I и III способы) и «алкид в воду» (II способ) отмечено уменьшение вязкости с 75 до 24 с соответственно.

Анализ совокупности коллоидно-химических характеристик эмульсий, приготовленных пятью способами введения компонентов, позволил ранжировать их по повышению эффективности использования для приготовления алкидных эмульсий в следующей последовательности: предварительная подготовка водного раствора, с введением воды в алкид, с последующим введением в него ПАВ → предварительная подготовка водного раствора, с введением алкида в воду, с последующим введением в него ПАВ → предварительная подготовка полимерного раствора с последующим введением в

него воды → предварительная подготовка водного раствора ПАВ с последующим введением его в алкидную смолу → предварительная подготовка раствора алкидной смолы с ПАВ и последующее его введение в воду.

Таблица 1 – Влияние рецептурно-технологических параметров на свойства алкидной эмульсии

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

* Представлены наиболее эффективные составы эмульсии для каждого из способов получения

Изменение условий эмульгирования и состава эмульсии привело к снижению вязкости и увеличению срока жизни эмульсии без видимой коалесценции капель алкидной смолы. Рациональным способом эмульгирования при трехкомпонентном составе эмульсии (масло/ПАВ/вода) можно считать II способ с содержанием 54,9 % ГФ-0123, 0,1 % (АМР-95), 45 % воды, при следующих параметрах эмульгирования: скорость эмульгирования 5000 об/мин, температура эмульгирования 35 °C, общее время получения эмульсии 35–40 минут. Данные параметры обеспечивают стабильную структуру со сроком жизни – 8 дней, размером капель – до 17 мкм и вязкость – 24 с, приемлемую для распыления эмульсии на пылеобразующую дисперсию.

Подбор стабилизирующего компонента водной алкидной эмульсии. Для формирования капли дисперсной фазы необходимо подобрать концентрацию ПАВ достаточную для формирования структуры эмульсии в системе «алкидная смола – ПАВ – вода» 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), который, в свою очередь, будет служить транспортом иммобилизованной воды, зажатой между частиц ПД, при сохранении должного уровня адсорбционно-сольватного равновесия на поверхности капель эмульсии.

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 % с шагом 5 %;

АМР-95 – 0,1–0,5 % с шагом 0,1 % от содержания алкида (взамен).

Оценка реологических характеристик (рис. 3, а) показала, что динамическая вязкость, как и срок жизни, тем выше, чем меньше размер капель эмульсии. При добавлении АМР-95 до 0,5 % вязкость вырастает, что можно объяснить уменьшением размеров частиц (рис. 3, б) и увеличением их количества. При более высокой концентрации ПАВ происходит дополнительная пластификация частиц, что компенсирует возрастание межчастичного взаимодействия при увеличении концентрации алкида, в результате чего вязкость всей эмульсии не возрастает.

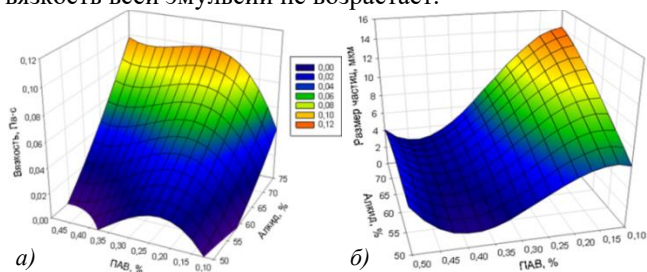


Рисунок 3 – Зависимость динамической вязкости (а) и размера капель (б) эмульсии от содержания алкидной смолы и АМР-95

При рассмотрении срока жизни эмульсии важно отметить взаимосвязь агрегативной устойчивости и размера капель, т.е. 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 % 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 частиц компонентов между собой с последующим получением меньшего размера капель эмульсии. Для АМР-95 рациональным является состав с 0,50 % 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 %), обеспечивающим требуемые технологические свойства данного состава как эффективного ПС.

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 применяемый в лакокрасочной промышленности эмульгатор для алкидных эмульсий.

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

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

По сравнению с АМР-95 неионогенное ПАВ IVP-314 имеет более широкий рабочий диапазон применения, в котором ПАВ не демонстрирует признаков загущения, аналогичных АМР-95. Зависимость имеет параболический характер со слабовыраженным пиком при 2,23 % концентрации введения ПАВ в эмульсию, соответствующим минимальному значению размера частиц (до 3 мкм), что может говорить о стерическом характере стабилизации эмульсии. 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 % введении в состав эмульсии повторяет аналогичные зависимости для вязкости и размеров частиц. Соответствие экстремальных значений всех анализируемых показателей одной концентрации ПАВ свидетельствует о кинетическом принципе агрегативной устойчивости, связанной с высокой вязкостью эмульсии и малой разницей плотностей алкида и дисперсионной среды с растворенным в ней ПАВ.

Наиболее интересными с точки зрения оценки эффективности стабилизации эмульсии и работы АМР-95 являются составы со сниженным количеством воды – 40 % и повышенным количеством алкида – 60 %, требующие более подробного изучения выбранного диапазона АМР-95 от 0,1 до 0,6 % (с шагом 0,05 %) от общей массы эмульсии и от 0,17 % до 1,01 % от массы алкида. Зависимость размера частиц от концентрации ПАВ показывает параболический характер с минимумом (до 3 мкм) при 0,4 % (рис. 4).

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 % концентрации АМР-95. Это также подтверждается минимумом размера частиц эмульсии при данной концентрации. Максимум при концентрации 0,23 %, через который проходит вязкость эмульсии при повышении концентрации ПАВ, известен как «водный холм» – в растворе происходит вытягивание клубков

и молекулярных ассоциатов.

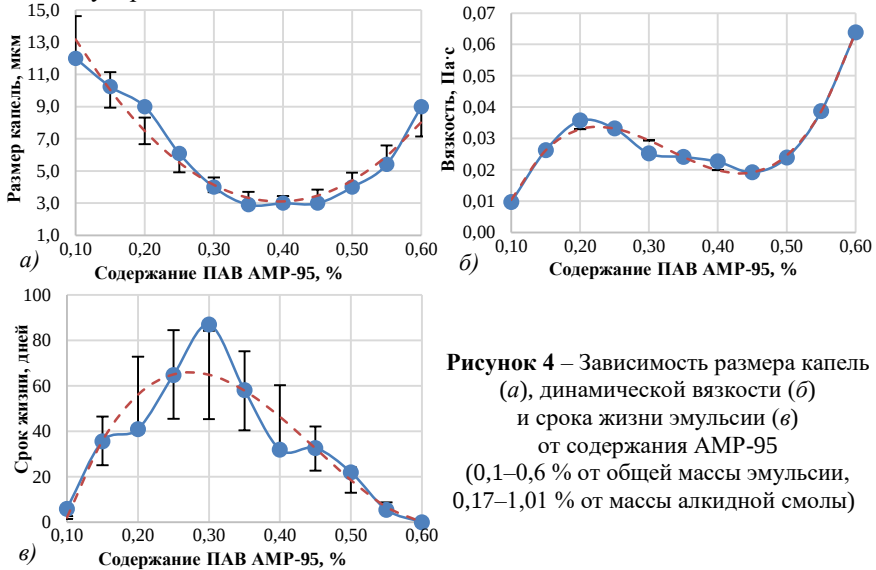


Рисунок 4 – Зависимость размера капели (а), динамической вязкости (б) и срока жизни эмульсии (в) от содержания AMP-95 (0,1–0,6 % от общей массы эмульсии, 0,17–1,01 % от массы алкидной смолы)

Устойчивость к седиментации имеет параболический характер с максимумом при 0,27 % концентрации ПАВ. Однако, ввиду большой погрешности эксперимента и эмпирического максимума при 0,3 %, данный максимум следует рассматривать в интервале концентраций от 0,2 до 0,35 %. Исходя из этого, оптимальная, с точки зрения минимального размера капели, концентрация 0,4 % не обеспечивает наилучшего срока жизни, что, скорее всего, вызвано перераспределением ПАВ из дисперсионной среды на поверхность алкидной фазы. Это также можно косвенно связать с падением вязкости в диапазоне концентраций AMP-95 с 0,2 до 0,4 %.

По результатам сравнения характеристик между вышеперечисленными составами были отобраны по два состава (% ПАВ от алкидной смолы) с каждым видом эмульгатора (ПВС, IVP-314, AMP-95) (табл. 2).

Поскольку при эффективной стабилизации капели 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 краевого угла свидетельствует о том, что гидрофильная часть молекулы ПАВ выстроена у поверхностного слоя пленки.

Таблица 2 – Зависимость свободной энергии поверхности пленки от содержания ПАВ

Вид ПАВ	масс. % ПАВ	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

Оценку качества поверхности полимерной пленки, зависящего от содержания и равномерности распределения ПАВ в полимере, проводили путем измерения краевого угла (θ) и расчета методом ОВРК по линейной регрессии свободной энергии поверхности (см. табл. 2). При этом чем меньше разница в показателях θ по тестовым жидкостям, тем более развитая морфология поверхности полимерной пленки.

Наибольшей гидрофобностью обладают составы с ПВС и AMP-95. Однако при использовании ПВС формируется более высокоразвитая поверхность, что свидетельствует о неравномерном распределении эмульгатора. Таким образом, введение 0,5 % AMP-95 от алкида обеспечивает как формирование иерархичной поверхности пленки, так и высокое значение θ .

Сравнительная оценка значений параметров, характеризующих как качество эмульсии, так и пленки на ее основе (табл. 3), позволило выделить состав с AMP-95 как наиболее эффективный, которой и был принят для дальнейших исследований.

Таблица 3 – Свойства алкидной эмульсии и образованной ею пленки в зависимости от вида ПАВ

Контролируемые параметры	Вид ПАВ		
	ПВС	IVP-314	AMP-95
% ПАВ от алкидной смолы	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	33,4	35,6	39,2
Краевой угол, °	вода	103,0	88,1
	диiodометан	51,6	40,2
			100,3
			39,1

Подбор отверждающего и коалесцирующего компонентов эмульсии.

Для отверждения алкидной эмульсии использовались сиккативы Со (12%-ный) – первичный отвердитель поверхностной полимеризации, и Zr (18%-ный) – вторичный отвердитель объемной полимеризации. Сиккативы вводились в состав трехкомпонентной эмульсии: сиккатив Со 0,39–1,91 % с шагом 0,38 %; сиккатив Zr 0,78–3,82 % с шагом 0,76 %.

Для рассредоточения и пластификации связующего полимерного компонента эмульсии и формирования сплошной эластичной пленки в качестве

коалесцентов рассматривали этиленгликоль, глицерин и пропиленгликоль. Коалесценты вводились в количестве 2–10 % с шагом 2 %.

Эффективность модифицирующих компонентов оценивали по результатам срока жизни и размера капель эмульсии, а также по свойствам полимерной пленки (время высыхания, твердость, краевой угол).

В присутствии сиккативирующих добавок ожидаемо улучшаются физико-механические свойства полимерной пленки эмульсии (табл. 4), без изменения коллоидно-химических свойств эмульсии. Значительное ускорение сушки пленки (до 19 ч) и ее твердости (до 0,24 у. ед.) происходит при введении 2–3 % смеси сиккативов кобальта и циркония, что объясняется ускорением процесса поликонденсации алкидной смолы. Однако дальнейшее повышение концентрации сиккативов выше 4 % 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 продуктом реакции.

Таблица 4 – Оценка полимерной пленки на основе алкидной эмульсии в зависимости от содержания сиккатива

Сиккатив, %		Показатели				
Со	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

В отличие от сиккативов характер влияния коалесцентов зависит от вида и содержания в составе эмульсии (рис. 5). Глицерин в качестве модификатора границы раздела фаз 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 большую по сравнению с этиленгликолем алифатическую часть, приводит к уменьшению размеров капель и повышению срока жизни 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 %) небольшой рост иерархии поверхности, что обеспечивает увеличение 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.

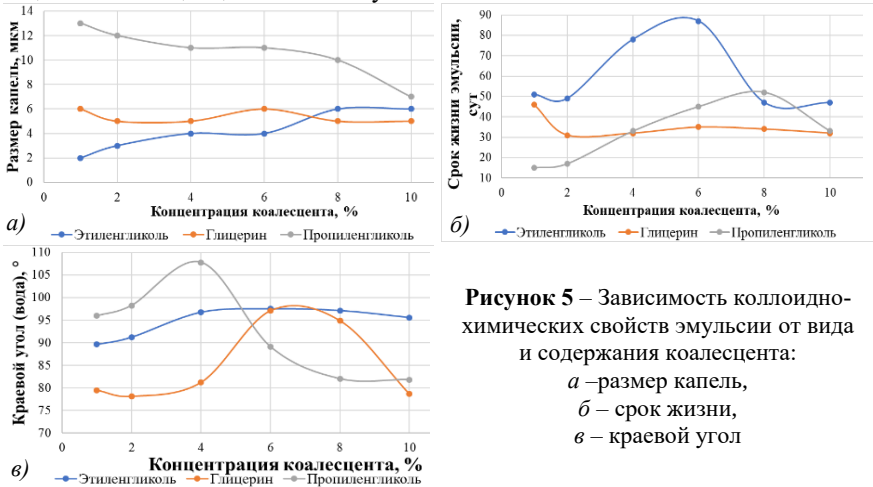


Рисунок 5 – Зависимость коллоидно-химических свойств эмульсии от вида и содержания коалесцента:

а – размер капель,

б – срок жизни,

в – краевой угол

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, на основании выше перечисленных данных по подбору технологических параметров эмульгирования, а также состава эмульсии и оценки ее коллоидно-химических и физико-механических свойств в зависимости от содержания дисперсной фазы, эмульгатора и модификаторов алкидной смолы в составе эмульсии, предложена рецептура алкидной пылеподавляющей эмульсии на водной основе (в пересчете на 100%): алкидная глифталевая смола – 56,1 %; вода – 37,5 %; АМР-95 – 0,3 %; этиленгликоль – 6 %; сиккатив кобальта – 0,034 %; сиккатив циркония – 0,066 %.

Помимо оценки **КС** как **защитного пылеподавляющего покрытия** на соответствие ГОСТ Р 51037-97, которая показала соответствие разработанной эмульсии требованиям нормативной документации, дополнительно предложен комплекс косвенных и прямых методов, позволивших подтвердить ее эффективность (табл. 5). Для количественной оценки эффективности ПС предложена методика определения коэффициента запыленности, характеризующего устойчивость КС к ветровой эрозии, для чего разработана портативная лабораторная установка, действующая по принципу аэродинамической трубы и позволяющая оценить концентрацию пыли в воздухе.

Таблица 5 – Характеристики консолидированного слоя ПД

Наименование показателей	Значения	Наименование показателей	Значения
Частный остаток на сите 5 мм после обработки ПД эмульсией, %	49	Структура поверхности КС	однородная
Водоустойчивость, мин	60	Толщина КС, мкм	200
Краевой угол, °	92,5	Коэффициент запыленности*	0,066
Основные показатели по ГОСТ Р 51037-97		Техн. требования	Фактич. значения
Предварительная подготовка поверхности (температура 5–30 °С, влажность до 95 %)		отсутствует	отсутствует
Степень окомкования, %		> 80	93
Температура поверхности нанесения, °С		–10 ... +50	+5 ... +25
Время выдержки до начала эксплуатации, ч		< 24	19
Устойчивость при температуре, °С		5–30	79
Устойчивость при воздействии воды, сут		> 180	198
Срок службы, сут		> 180	180

* $K_{зп}$ рассчитывается как отношение концентрации пыли в воздухе после воздействия ветрового потока на КС, к аналогичному показателю без обработки ПС

Таким образом, обосновано технологическое решение создания коллоидно-устойчивой пылеподавляющей водной эмульсии на основе алкидной глифталевой смолы с вязкостью 50,7 мПа·с, сроком жизни – до 87 сут., размером капель – до 3 мкм. Предложен механизм действия алкидной эмульсии как пылеподавляющего состава с коэффициентом запыленности 0,066 при расходе 0,75 л/м². Обоснован метод орошения при обработке пылеобразующих объектов разработанной эмульсией.

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 $v=1900\text{--}2000$ 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 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 НАУЧНЫХ ТРУДОВ,
В КОТОРЫХ ИЗЛОЖЕНЫ ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАБОТЫ
В журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий,
рекомендованных ВАК РФ**

1. *Строкова, В.В.* Анализ способов получения алкидной эмульсии на водной основе / В.В. Строкова, **Э.М. Ишмухаметов**, А.Ю. Есина, М.А. Степаненко, И.Ю. Маркова, П.С. Баскаков, А.А. Голец, М.В. Никулина, Н.А. Шаповалов // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 25. – № 7. – С. 43–48. (ИФ – 0,242).

2. *Строкова, В.В.* Пылеподавляющие составы на водной основе: анализ состояния и перспективы развития / В.В. Строкова, **Э.М. Ишмухаметов**, А.Ю. Есина, И.Ю. Маркова, Е.Н. Губарева, А.В. Абзалилова, Н.А. Шаповалов // Вестник технологического университета. – 2022. – Т. 24. – № 12. – С. 5–38. (ИФ – 0,242).

**В изданиях, входящих в международные реферативные базы данных
и системы цитирования, рекомендованных ВАК РФ**

3. *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. (CA(pt)).

4. *Stroková, V.V.* Modification of Organosilicon Emulsions for Obtaining Hydrophobic Surfaces and for Reducing Dust Deposition / V.V. Stroková, M.V. Nikulina, **E.M. Ishmukhametov**, A.Yu. Esina, P.S. Baskakov, M.A. Stepanenko, I.Yu. Markova, A.V. Abzalilova, I.G. Ryltsova // Chemistry for Sustainable Development. – 2023. – Vol. 31. – № 3 – Pp. 337–342. (CA(core), WoS(ESCI)).

5. *Строкова, В.В.* Портативное устройство для определения эффективности пылеподавления дисперсий / В.В. Строкова, И.Ю. Маркова, В.А. Кобзев, А.Ю. Есина, М.А. Степаненко, **Э.М. Ишмухаметов** // СТИН. – 2023. – № 8. – С. 37–40. (Scopus, Springer).

В сборниках трудов конференций

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

7. *Дедкова, Е.В.* К вопросу о разработке и применении водных эмульсий функционального назначения / Е.В. Дедкова, **Э.М. Ишмухаметов**, А.В. Абзалилова // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе: сб. трудов VII-я Междунар. науч.-практ. конф. – Саратов: Изд-во СГТУ, 2019. – № 11. – С. 187–190.

8. *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) науч.-практ. конф. – Архангельск: Изд-во САФУ, 2019. – С. 20–23.

9. *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 Всерос. конф. – Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2020. – С. 9.1–9.5.

10. *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. молодежный форум. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2020. – С. 1569–1573.

11. *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 междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, учёных и специалистов. – Тюмень: Изд-во ТИУ, 2020. – Т. 2. – С. 55–57.

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

13. *Ишмухаметов, Э.М.* Методы оценки эффективности пылеподавляющих эмульсий / Э.М. Ишмухаметов // сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. им. Д.И. Менделеева. – Тюмень: Изд-во ТИУ, 2023. – Т. 1. – С. 185–187.

ИШМУХАМЕТОВ ЭДУАРД МИНИАХМЕТОВИЧ

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

1.4.10. Коллоидная химия

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 09.10.2023.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 1,34. Тираж 120 экз. Заказ № 124

Отпечатано в Белгородском государственном
технологическом университете им. В.Г. Шухова
308012, г. Белгород, ул. Костюкова, 46