



*На правах рукописи*

Кошкарров Василий Евгеньевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОБЕСПЫЛИВАНИЯ  
КАРЬЕРНЫХ АВТОДОРОГ И ТЕХНОГЕННЫХ МАССИВОВ  
ПРОФИЛАКТИЧЕСКИМИ ЭМУЛЬСИЯМИ ИЗ ТЯЖЕЛЫХ НЕФТЯНЫХ  
ОСТАТКОВ**

Специальность 25.00.36 – «Геоэкология»  
(в горно-перерабатывающей промышленности)

Автореферат  
диссертации на соискание учёной степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург – 2021

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения»

**Научный руководитель:** доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
**Неволин Дмитрий Германович,**  
зав. кафедрой «Проектирование и эксплуатация автомобилей» ФГБОУ ВО «Уральский государственный университет путей сообщения»  
(г. Екатеринбург)

**Официальные оппоненты:** **Сметанин Владимир Иванович,**  
доктор технических наук, профессор, научный консультант ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова.» (г. Москва)

**Дедюхин Александр Юрьевич,**  
кандидат технических наук, доцент,  
директор НИИ «ЛАДОР» в составе ООО Испытательный центр «Дорожные технологии»  
(г. Екатеринбург)

**Ведущая организация -** ФГБУН Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук  
(г. Екатеринбург)

Защита состоится «20» апреля 2021 г. в 12.00 часов на заседании диссертационного совета Д 002.074.01 при Институте проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук (ИПКОН РАН) по адресу: 111020, г. Москва, Крюковский тупик, д. 4; тел./факс +7 (495) 360-89-60. Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес совета. С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПКОН РАН и на сайте [www.ипконран.рф](http://www.ипконран.рф).

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

Отзывы, заверенные печатью организации, просим направить в двух экземплярах не позднее чем за 15 дней до защиты диссертации. В отзыве должны быть указаны фамилия, имя, отчество, должность, организация, почтовый адрес, телефон и электронная почта лица, представившего его, дата составления.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета,  
доктор технических наук

Матвеева Т.Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** При открытой разработке полезных ископаемых одной из задач геоэкологии является защита продуктивной природной среды и всей экосистемы в районе месторождения. Природно-техническая система горного предприятия включает в себя факторы противодействия экологических ограничений и применяемых горных технологий.

Интенсификация добычи и переработки минерального сырья связана со значительным загрязнением окружающей среды. Эксплуатация породных отвалов и карьерных автодорог является одним из производственных процессов технологии открытой разработки. При этом вынос мелких минеральных частиц с их поверхности приводит к повышению запыленности воздуха и загрязнению прилегающей территории. Затраты, необходимые для компенсации наносимого при этом ущерба, могут быть настолько значительными, что снижают эффективность открытых горных работ.

Рациональным направлением снижения экологической нагрузки горных предприятий может стать использование тяжелых нефтяных остатков при обеспыливании. Безотходная концепция совместного и бесконфликтного развития техно- и биосферы основана на принципах эффективности для народного хозяйства и устранении причин экологической опасности. Профилактическая эмульсия, полученная из тяжелых нефтяных остатков (ТНО), соответствует этим требованиям, и ее применение может стать эффективной технологией обеспыливания.

**Степень разработанности темы.** По результатам проведенных ранее работ выявлены закономерности интенсификации пылеобразования и предложены подходы к снижению пылеобразования различными средствами пылеподавления. Изучены параметры пылевого шлейфа, образующегося от движения карьерного автотранспорта, и поверхностные свойства горных пород при воздействии на них средств пылеподавления. Наиболее широкое практическое применение нашла технология орошения водой, ПАВ, латексов и дисперсных материалов на основе воды, однако эти материалы отличаются ограниченным сроком эксплуатации в силу своих водорастворимых свойств, требуют применения специализированной техники либо дорогостоящих растворителей или добавок, что может быть неприемлемо для экономики и экологии открытых горных работ.

Несмотря на большой объем исследований и достигнутые успехи, проблема обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов остаётся актуальной.

**Цель работы:** повышение срока обеспыливания поверхности карьерных автодорог и техногенных массивов для обеспечения экологической безопасности окружающей среды.

**Идея работы** заключается в использовании профилактических эмульсий из ТНО за счёт их физико-технических и адгезионных свойств.

**Объект исследования** – пылящая поверхность карьерных автодорог и техногенных массивов.

**Предметом исследования** является профилактическая эмульсия на основе тяжелых нефтяных остатков для технологии обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов.

### **Задачи исследования:**

1. Провести анализ технологий и средств обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов.
2. Обосновать методику оценки закрепления пылящих поверхностей профилактическими связующими и эмульсиями на их основе, дать экологическую оценку применяемой технологии.
3. Разработать математическую модель определения типа нефтесвязующего вещества – тяжелого нефтяного остатка и его параметры, которые удовлетворяют требуемым условиям пылеподавления.
4. Разработать технологию приготовления и нанесения профилактических эмульсий для обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов и произвести экономическую оценку предложенных решений.

**Содержание диссертации** соответствует областям исследований паспорта научной специальности 25.00.36 – Геоэкология (в горно-перерабатывающей промышленности): п. 3.5. «Теория и методы создания экологически безопасных технологий, машин, оборудования и материалов, подготовки и повышения качества продукции, утилизации и переработки промышленных отходов при разработке природных и техногенных месторождений и обогащении твердых полезных ископаемых».

**Методы исследований** – экспериментальные работы в лабораторных и полупромышленных условиях; системный анализ научных результатов и опыта приготовления эмульсионных связующих, закрепления пылящих поверхностей; технико-экономические расчеты.

### **Научные положения, выносимые на защиту:**

1. Технология закрепления пылящих поверхностей карьерных автодорог и техногенных массивов профилактическими связующими и эмульсиями на основе тяжелых нефтяных остатков позволяет обеспечить их обеспыливание за счет смачивания пылеватых частиц дисперсионной фазой эмульсии и обеспечения их адгезионного взаимодействия со смолисто-асфальтовыми веществами ТНО.
2. Определение физико-механических параметров (прочность и водонасыщение) и оценка экологической безопасности (метод ИК-спектроскопии водных вытяжек) образцов-вырубок пылящей поверхности или лабораторных образцов-брикетов органоминеральной смеси, составленной из материала покрытия и связующего, позволяют обосновать рациональный расход профилактических эмульсий, обеспечить необходимые строительные, эксплуатационные свойства и экологическую безопасность для гидросферы.
3. Методика определения вязкости связующего и дзета-потенциала эмульсии на его основе позволяет подобрать рациональный тип нефтесвязующего – тяжелого нефтяного остатка, технологию обеспыливания с учетом группового углеводородного состава, класса и дисперсности получаемых профилактических эмульсий и рассчитать коэффициент адгезии к материалам, составляющим пылящую поверхность.

### **Научная новизна работы:**

1. Предложена классификация технологий обеспыливания, позволяющая на стадии проектирования применять уточненный тип обеспыливания в зависимости от конкретных условий применения и интенсивности пылеобразования.

2. Разработана математическая модель, позволяющая определить тип нефтесвязующего – тяжелого нефтяного остатка, параметры которого удовлетворяют требуемым условиям пылеподавления.

3. Обоснована методика определения физико-технических свойств поверхности карьерных автодорог и техногенных массивов, обеспыленных профилактической эмульсией, на основе установленных закономерностей изменения прочности и водонасыщения образцов пылей (брикетов из органоминеральной смеси).

**Практическое значение работы** состоит в разработке технологии и технологических параметров закрепления пылящих поверхностей карьерных автодорог и техногенных массивов профилактическими эмульсиями из тяжелых нефтяных остатков для исключения загрязнения окружающей среды.

**Достоверность научных положений, выводов и результатов** подтверждается сходимостью расчетных лабораторных показателей с результатами наблюдения на опытных участках в промышленных условиях, обобщением теоретических и экспериментальных исследований, выполненных автором в качестве ответственного исполнителя в период 2011–2019 гг. в Уральском государственном университете путей сообщения (2011–2013 гг.); Уфимском нефтяном техническом университете (2013–2016 гг.); Уральском государственном горном университете (2016–2019 гг.).

**Личный вклад автора** состоит в проведении теоретических исследований, математического моделирования и экспериментальных исследований, разработке методики оценки закрепления пылящих поверхностей профилактическими связующими и эмульсиями на их основе, обработке, обобщении и технико-экономической оценке полученных результатов.

**Апробация работы.** Результаты исследований по теме диссертации были представлены на международных и региональных научно-практических конференциях и форумах, в том числе: международная конференция «Инновации в дорожном строительстве: эффективность и качество. Уральский федеральный округ», г. Екатеринбург, 2011–2012, 2014–2018 гг.; III специализированная выставка-конференция «Экология. Управление отходами», ВЦ КОСК «Россия», г. Екатеринбург, 2012 г.; IV межрегиональная конференция «Актуальные проблемы регионального дорожного строительства», г. Уфа, 2013 г.; 72-я международная научно-техническая конференция «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования, посвященная 80-летию МГГУ им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск, 2014 г.

**Реализация работы.** В результате полупромышленного эксперимента по обеспыливанию карьерных подъездных автодорог Волковского рудника ОАО «Святогор» получена справка о внедрении по повышению эффективности обеспыливания.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 научных работ, в том числе в двух рецензируемых научных журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Изданы 2 монографии, получен 1 патент.

**Структура и объём работы.**

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения, изложенных на 147 страницах машинописного текста, содержит 44 рисунка, 33 таблицы и список использованных источников из 124 наименований.

**ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** показаны актуальность проблемы, практическая значимость, определены цель работы, задачи и пути их решения.

**В первой главе** содержится анализ состояния проблемы.

Обеспыливание поверхности карьерных автодорог и техногенных массивов является важным фактором их горнотехнической эксплуатации и охраны окружающей среды при производстве горных работ. Дисперсность витающей пыли чрезвычайно высокая: 90–98 % пылинок имеют размер менее 10 мкм.

При разработке полезных ископаемых в открытых карьерах используют поливочные станции и гудронаторные машины в составе механизированных колонн по устройству и содержанию временных забойных автодорог. На рисунке 1 представлена разработанная классификация методов борьбы с пылью при эксплуатации карьерных дорог.



Рисунок 1 – Классификация методов борьбы с пылью при эксплуатации карьерных автодорог и техногенных массивов

Установлено, что использование воды для борьбы с пылеобразованием в полной мере не является эффективным решением, так как не является клеящим компонентом (не подразумевает создание клеевой композиции), зависит от конкретных погодных условий, предусматривает задержку технологических операций на производстве, в связи с чем обеспыливающими мероприятиями зачастую пренебрегают.

**Во второй главе** в лабораторных условиях исследованы физико-технические свойства пыли, изучены химический и гранулометрический состав

материалов – пылей, составляющих пылящие поверхности объектов исследования. Обоснован выбор необходимых компонентов и пылесвязующих параметров в условиях взаимодействия с пылью по методике профессора А. Н. Кондратова.

Форма, поверхность и поровая структура пылей определяются минералогическим составом (таблица 1) и в большей степени зависят от условий добычи, транспортировки и предварительной подготовки материалов к технологической переработке.

Таблица 1 – Минералогический состав исследуемых пылей, %

Пыль	<i>Ni</i>	<i>CO</i>	<i>Fe</i> <sub>общ.</sub>	<i>SiO</i> <sub>2</sub>	<i>AL</i> <sub>2</sub> <i>O</i> <sub>3</sub>	<i>CaO</i>	<i>MgO</i>	Прочие
Скрубберная	1,80	0,067	17,31	35,0	6,3	10,5	9,4	19,56
Циклонная	1,97	0,063	17,59	38,0	7,0	5,3	10,0	20,01
Зола-унос	-	1,4	3,84	56,92	31,56	1,4	0,81	4,07

Произведен анализ тяжелых нефтяных остатков с целью выбора и регулирования рациональных типов ТНО, отвечающих нормам экологии человека и окружающей среды. Дана их техническая характеристика. Вязкость, групповой углеводородный состав нефтесвязующих оказывают ключевое влияние на технологию производства работ по обеспыливанию, срок эксплуатации обеспыленных поверхностей и строительные свойства карьерных автодорог и техногенных массивов.

На рисунке 2 представлены результаты оценки динамической вязкости и энергии вязкого течения окисленных вяжущих по их температуре размягчения.

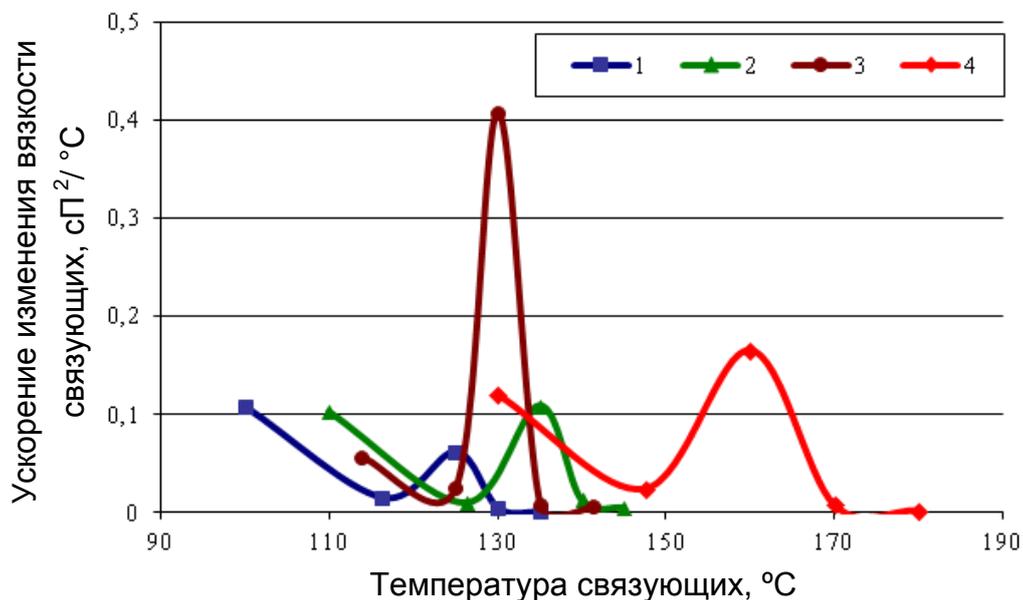


Рисунок 2 – Зависимость второй производной вязкости по температуре (ускорение изменения вязкости) от их температуры:  
 1 – АПД 38; 2 – АПД 43; 3 – компаунд; 4 – битум БН 70/30

Экстремумы функции характеризуют переход нефтяных дисперсных систем из вынужденно-пластического состояния в состояние свободной структуры, что

указывает на температуру фазового перехода, при котором получаемые из них профилактических эмульсий будут более мелкодисперсными и стабильными.

Температура текучести окисленного компаунда ниже на 10–20 °С по сравнению с температурой текучести вязущих, близких по температуре размягчения, определенных по методике «кольцо и шар» (КиШ), что указывает на улучшенные показатели однородности полученных из них эмульсий.

В результате лабораторных испытаний исследованы тяжелые нефтяные остатки – асфальты пропановой деасфальтизации (АПД), крекинг-остаток (КО), гудрон западносибирской смеси, нефтяной битум (БН). Определены физико-химические характеристики, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические свойства исследуемых ТНО

№	Наименование показателей	ГОСТ, <i>ASTM</i>	Гудрон <i>АВТ 2</i>	АПД 36/30	КО	БН 70/30
1	T <sub>p</sub> , °С, по КиШ	11506-73	38	42	45	70
2	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	3900-85	1008	1010	1012	1024
3	S общая, %	4294-03	2,74	2,34	1,25	-
4	η 120 °С, мПа·с	2919	358,0	367,5	-	-
5	Парафины, %	17789-72	1,62	0,86	-	-
6	Групповой углеводородный состав, % (масс.)					
	парафино-нафтеновые	ГрозНИИ	11,76	6,94	8,6	12,3
	моноароматические (легкие)	-//-	14,87	15,09	8,7	11,2
	бициклические (средние)	-//-	19,87	23,57	11,6	8,6
	полициклические (тяжелые)	-//-	38,42	34,97	42,3	35,4
	бензольные смолы	-//-	14,85	19,08	1,9	10,3
	спиртобензольные смолы	-//-	-	-	14,0	13,0
	асфальтены	БашНИИ	8,93	5,85	3,9	9,2

На основании содержания смолисто-асфальтеновых веществ окисленные гудроны, битумы и АПД выбраны в качестве нефтесвязующих для приготовления из них профилактических эмульсий. В эмульгированном состоянии они относятся к 4-му классу опасности согласно ГОСТ 12.1.007 и являются малоопасными веществами по степени воздействия на организм человека.

Лабораторные опыты по получению профилактической эмульсии из ТНО осуществлялись на лабораторном комплексе, представленном на рисунке 3.

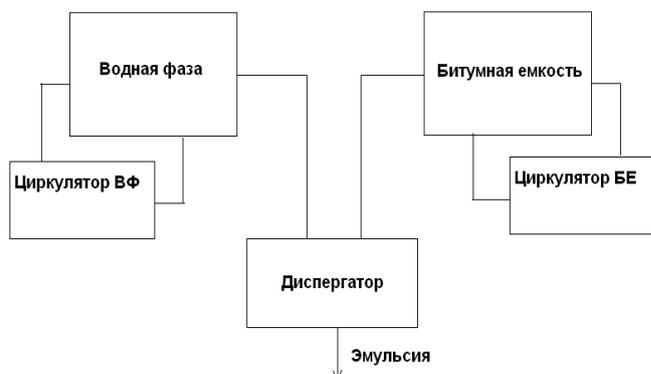


Рисунок 3 – Принципиальная схема и общий вид лабораторного комплекса для получения профилактических эмульсий

Сущность процесса эмульгирования заключается в одновременном

разогреве связующего выше температуры фазового перехода (120 °С) и водного раствора ПАВ до 50 °С, а затем смешивания их в диспергаторе в соответствии с принятым соотношением.

На рисунке 4 представлена характеристика полученной профилактической эмульсии. Наиболее часто встречающийся размер частиц составляет 2 мкм, что в 2–3 раза мельче используемых в технике битумных эмульсий (ГОСТ 52128-2003), с потенциально улучшенными свойствами смачивания и склеивания тонкодисперсных частиц.

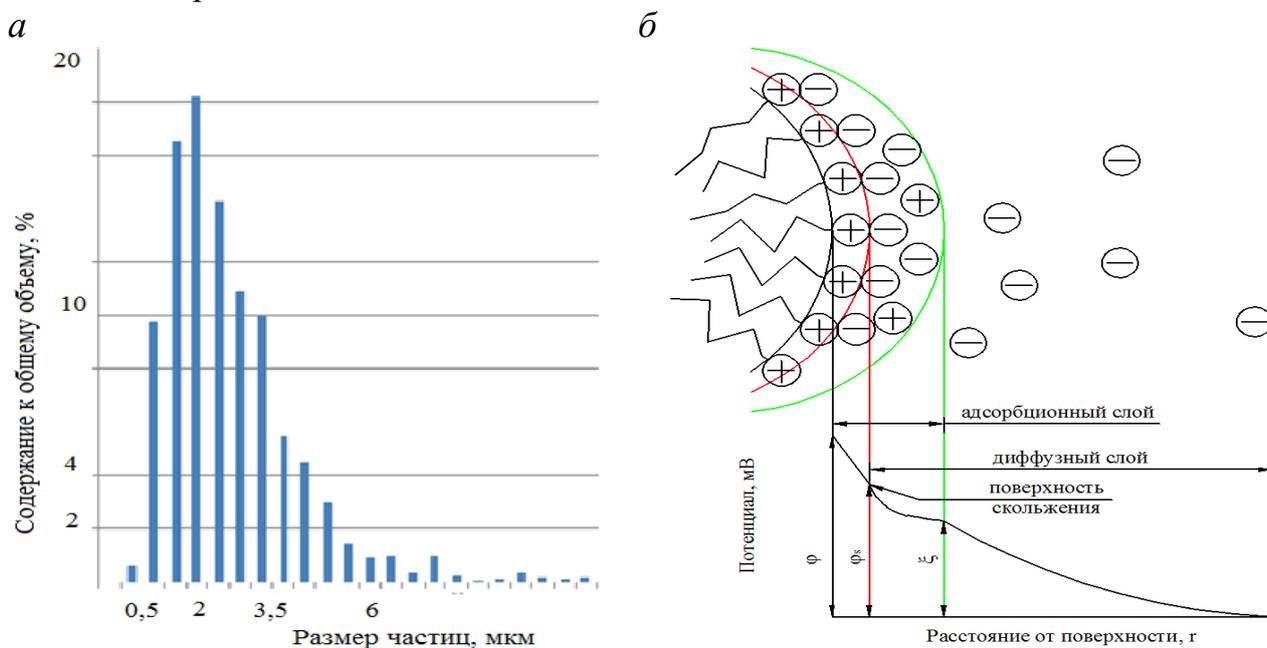


Рисунок 4 – Характеристика частиц дисперсной фазы эмульсии:  
*а* – распределение частиц дисперсной фазы по объему; *б* – схема стабилизации частиц дисперсной фазы эмульгаторами и ПАВ:  
 $\varphi$  – общий потенциал системы,  $\varphi_s$  – потенциал упорядоченного слоя,  
 $\xi$  – потенциал диффузного слоя (дзета-потенциал)

Разработанная методика определения силы двойного электрического слоя гранул эмульсий по дзета-потенциалу (рисунок 4, *б*) во внешнем электрическом поле позволяет добиться более высокой технологической стабильности профилактической эмульсии при обеспечении необходимой скорости распада на поверхности минеральных частиц.

Разработанная методика основана на определении скорости движения заряженных частиц дисперсной фазы относительно дисперсионной среды во внешнем электрическом поле (уравнение Гельмгольца – Смолуховского), из которой определяется дзета-потенциал ( $\xi$ ):

$$\xi = \frac{k\eta V}{\varepsilon_0 \varepsilon H}, \quad (1)$$

где  $k$  – коэффициент формы частиц;  $\eta$  – вязкость среды, Н·с/м<sup>2</sup>;  $V$  – скорость движения заряженных частиц, м/с;  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая проницаемость, Н/В<sup>2</sup>;  $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая проницаемость;  $H$  – напряженность электрического поля, В/м.

Полученные данные по дзета-потенциалу позволяют уточнить содержание ПАВ в составе исследуемых эмульсий в процессе разработки рецептур по отношению к конкретным минеральным материалам горных предприятий. Эмульсии из АПД и КО концентрацией от 51 до 69 % являются устойчивыми и пригодными для обеспыливания при открытых горных работах.

**В третьей главе** проведены исследования по разработке технологии и составов закрепления пылящих поверхностей. Дана оценка экологической безопасности для гидросферы.

С целью изучения физико-механических свойств обработанных пылящих поверхностей и определения эффективного содержания пылесвязующего вещества при обеспыливании выбраны критерии предельной прочности при сжатии и водостойкости. Результаты физико-механических исследований эмульсионных пылесвязующих представлены на рисунке 5.

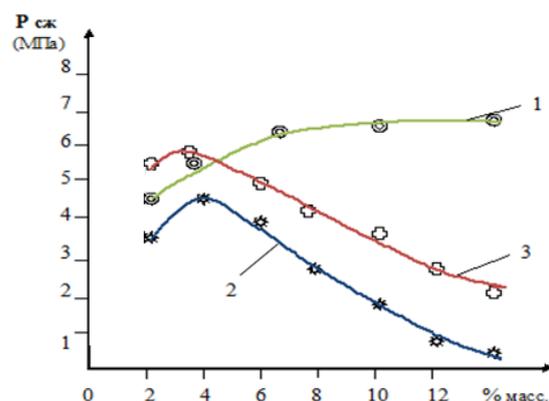


Рисунок 5 – Сравнительное испытание образцов пылей на когезионную прочность с различными пылесвязующими методом брикетирования:

1 – кристаллогидратное вяжущее; 2 – лигносульфонат ЛСТ;  
3 – профилактическая эмульсия

Установлено, что при испытании на одноосное сжатие профилактическая эмульсия с содержанием менее 15 % обеспечивает достаточную прочность клеевой композиции (когезионную прочность) и водостойкость получаемых образцов.

Использование профилактических эмульсий из тяжелых нефтяных остатков требует оценки возможных масштабов эмиссии органических поллютантов в окружающую среду. Содержание и состав органических соединений в создаваемых профилактических эмульсиях и их водных вытяжках определялись в лаборатории Горного института УрО РАН в г. Перми. Результаты исследования водорастворимой органики приведены в таблице 3.

Содержание в приготовленных монолитах водорастворимых солей весьма незначительно – общая минерализация водных вытяжек не превышала 25–28 мг/дм<sup>3</sup>.

Переход органических соединений в водную среду характеризуется низкими значениями: содержание ХБА в водных вытяжках после 1 суток контакта колеблется в пределах 0,80–0,93 мг/дм<sup>3</sup>, причем эти концентрации не зависят от веса и площади поверхности исследованных проб. Еще более низкое

содержание в водных вытяжках отмечается для нефтепродуктов – не превышает 0,02 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 3 – Результаты аналитических исследований водных вытяжек брикетов – пылевой шихты с профилактической эмульсией.

№	№ образца	Масса пробы, г	pH	Минерализация, мг/дм <sup>3</sup>	ХБА, мг/дм <sup>3</sup>	НП, мг/дм <sup>3</sup>
<i>Водные вытяжки, контакт порода – вода 1 сутки</i>						
1	I (монолит № 1)	259,32	6,32	4	0,89	<0,02
2	I' (дробленая проба № 1)	259,32	6,70	28	0,89	<0,02
3	II (монолиты № 2, 3)	541,77	6,29	4	0,80	0,02
4	III (монолит № 4)	538,1	6,30	4	0,93	<0,02
<i>Водные вытяжки, контакт порода – вода 7 суток</i>						
5	I' (дробленая проба № 1)	259,32	6,81	25	0,54	<0,02
6	II (монолиты № 2, 3)	541,77	6,97	4	0,61	-
7	III (монолит № 4)	538,1	6,95	3	0,61	-

Результаты проведенных исследований свидетельствуют, что добавление эмульсий из тяжелых нефтяных остатков приводит к формированию органоминеральной смеси, обладающей гидрофобными свойствами. Выявлена низкая растворимость углеводородных соединений в воде. Выщелачивание атмосферными осадками поверхностей, приготовленных с использованием эмульсий из тяжелых нефтяных остатков, не представляет угрозы сверхнормативного органического загрязнения гидросферы.

Для оценки эффективности технологии обеспыливания от загрязнения атмосферы в лабораторных условиях были проведены опытные эксперименты по защите сыпучих нерудных и угольных поверхностей методом орошения с целью определения эмиссии пылевых частиц при обеспыливании.

Сопоставительные испытания сдува угольной пыли проводились в аэродинамической трубе, показанной на рисунке 6.

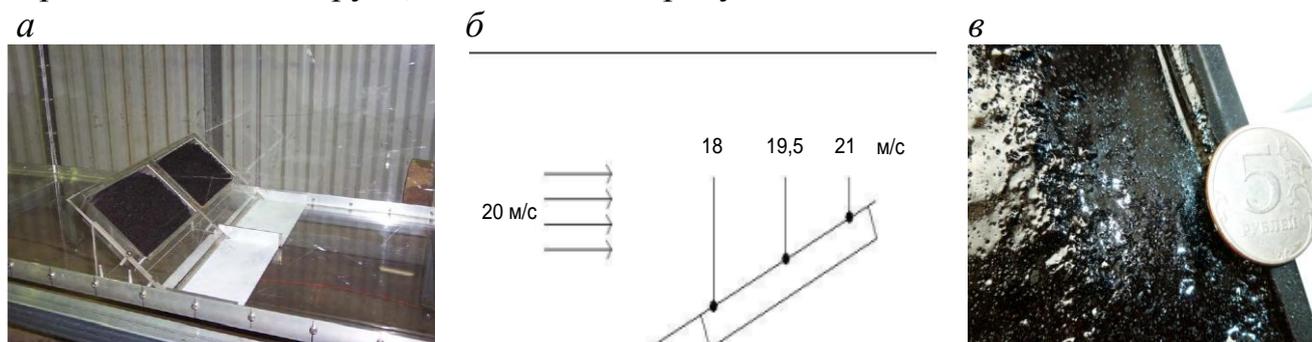


Рисунок 6 – Лабораторный комплекс при проведении испытаний сдува угольной пыли:

*а* – общий вид комплекса; *б* – схема лабораторного комплекса;  
*в* – образование пылесвязующего ковра после распада эмульсии

Сдув пыли, определяемый в граммах, для необработанного образца составил 115 г за 1 минуту, в случае обработанной поверхности – менее 50 г за 8 часов при прочих равных условиях исследования (скорость ветра до 20 м/с).

Обеспечение продолжительной стойкости клеевой композиции (пыль – вяжущее) обусловлено адгезионными силами, созданными на поверхности минеральных частиц и в их поровой структуре (таблица 4).

Под влиянием атмосферных явлений (атмосферная вода, солнечная радиация) и механического воздействия колёс карьерного автотранспорта клеевая композиция может быть нарушена.

Степень склеивания и удержания частиц пыли профилактической эмульсии исследовалась по методике (профессора А. Н. Кондратова) определения коэффициентов адгезии модульных органических соединений применительно к различным пылям горных предприятий. В результате исследования получены количественные характеристики адгезии, позволяющие определить рациональный тип профилактической эмульсии для конкретных горных условий.

Таблица 4 – Результаты определения коэффициентов адгезии ( $K$ ) структурно-групповых составляющих пылесвязующих

Каменные материалы (субстрат)	$K_{ПНУ}$	$K_{АС}$	$K_{ПАУ}$	$K_A$	$K_M$	$K_{СМ}$
Кварц	1,070	1,786	1,724	2,264	1,427	1,920
Шарташский гранит	1,364	1,961	2,025	2,566	1,580	2,268
Богдановичский известняк	1,740	1,992	2,233	2,819	1,930	2,409

Общую адгезию (коэффициент адгезии  $K_{ПС}$ ) пылесвязующего к конкретному каменному материалу предложено рассчитывать по формуле аддитивности коэффициентов структурно-групповых составляющих органического связующего:

$$K_{ПС} = X_M \cdot K_M + X_{СМ} \cdot K_{СМ} + X_A \cdot K_A, \quad (2)$$

где  $X_M, X_{СМ}, X_A$  – содержание структурно-групповых компонентов: масел, смол и асфальтенов, доли ед.;  $K_M, K_{СМ}, K_A$  – коэффициенты адгезии масел, смол и асфальтенов, входящие в состав пылесвязующего.

На основании полученных коэффициентов адгезии к материалам различного генезиса определено, что целесообразным коэффициентом адгезии для пород кислого и переходного составов является диапазон от 1,8 до 2,0.

**В четвертой главе** представлены технические решения по снижению экологической опасности пылящих карьерных автодорог и отвалов скальных пород, выполняемые в условиях Волковского рудника ОАО «Святогор» в период с 2015 по 2020 г.

#### **Обеспыливание техногенных массивов**

Обеспыливание проводится на двух участках скальных пород отвалов Северо-Западного карьера Волковского рудника ОАО «Святогор»: участок № 1 (рабочая площадка) площадью 45 тыс. м<sup>2</sup>, и участок № 2 (нерабочая площадка) площадью 43 тыс. м<sup>2</sup>.

Обеспыливание предусматривает распределение эмульсии, осуществляется напорными форсунками, установленными на полой раме позади бочки гидронатора. Норма расхода регулируется питателем насоса установки, а также скоростью движения автогудронатора.

Экологическая оценка работ основана на отборе проб грунта, определении фактического содержания пыли вблизи отвала скальных пород и непосредственно на участке № 2 и на участке № 1.

### Обеспыливание карьерных автодорог

В 2015 г. выполнен промышленный эксперимент по получению и применению в качестве поверхностной обработки профилактической эмульсии. В рамках полупромышленного эксперимента было предпринято обеспыливание подъездной автодороги и участка карьерной автодороги Волковского рудника.

На рисунке 7 показаны опытные мероприятия по обеспыливанию подъездных и карьерных автодорог Волковского карьера ОАО «Святогор», УГМК-Холдинг, август 2015 г.



Рисунок 7 – Нанесение профилактической эмульсии на поверхность грунтовой дороги в ОАО «Святогор» при обеспыливании покрытия (слева), качество обработки с расходом 0,5 и 1 л/м<sup>2</sup>(справа)

Состав опытной эмульсии представлен в таблице 5.

Таблица 5 – Состав опытной профилактической эмульсии

Наименование компонента	Содержание, %
Профилактическое связующее ПС-1, ООО «Газпромнефть-СМ», г. Омск	55
Эмульгатор АМДОР-ЭМ, ООО «Уралхимпласт-Амдор», г. Н. Тагил	0,4
Кислота соляная 36 %, ГОСТ 3118-67	0,25
Вода	44,35

Эффективность применения профилактической эмульсии связана с одновременным использованием воды и растворенных в ней ПАВ, специально подбирающихся к конкретным горным условиям, и профилактического связующего, обладающего высоким коэффициентом адгезии к горным породам, а также полученного из доступного ресурса – тяжелых нефтяных остатков.

Экономический эффект от применения профилактической эмульсии для обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов определяется по формуле:

$$\mathcal{E} = (Z_1 - Z_2) S \cdot C, \quad (3)$$

где  $\mathcal{E}$  – экономический эффект, руб.;

$Z_1$  – затраты на содержание 1 м<sup>2</sup> поверхности по действующей технологии пылеподавления в сутки (водой), руб./сут.;

$Z_2$  – затраты на содержание 1 м<sup>2</sup> поверхности по технологии обеспыливания профилактической эмульсией в сутки, руб./сут.;

$S$  – площадь участка техногенного массива, нуждающегося в обеспыливании, м<sup>2</sup>;

$C$  – количество дней в году, когда требуются мероприятия по обеспыливанию, сут.

В таблице 6 представлены сравнительные технико-экономические показатели технологии обеспыливания покрытий автодорог с различными реагентами, используемыми в технике для пылеподавления.

Таблица 6 – Сравнительные технико-экономические показатели технологии обеспыливания покрытий автодорог с различными реагентами

Наименование обеспыливающего состава	Норма расхода, л/м <sup>2</sup>	Срок действия, сут.	Расход в сутки, л·сут./м <sup>2</sup>	Цена, руб./л	Общая стоимость, руб.: сут./м <sup>2</sup>
Вода	2,0	0,2	10,0	0,024	0,24
Хлористый кальций	2,1	20	0,105	15	1,58
Сильвинитовая соль	3,3	15	0,22	7,0	1,54
Поваренная соль (30 %)	3,0	15	0,20	8,0	1,60
Лигносульфонат (ЛСТ, 50 %)	1,5	20	0,075	18	1,35
Сульфитный щелок (10 %)	5,0	20	0,25	3,6	0,9
Органические ПАВ	1,0	40	0,025	18,25	0,46
Латекс (водный раствор)	2,0	15	0,14	3,5	0,5
Жидкие битумы	0,9	45	0,02	19	0,38
Профилактическая эмульсия	0,5	30	0,016	14	0,22

Потенциальный экономический эффект от применения технологии обеспыливания отвала скальных пород Волковского рудника составил 8,8 млн руб./год.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе теоретических и экспериментальных исследований решена важная научно-техническая задача обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов профилактическими эмульсиями из тяжелых нефтяных остатков, имеющая существенное значение для геоэкологии. Основные результаты диссертации состоят в следующем:

1. Выполненный анализ существующих технологий обеспыливания автомобильных дорог и техногенных массивов показал, что разработка новых эффективных способов борьбы с пылеобразованием на поверхности карьерных автодорог и техногенных массивов является актуальной задачей.

2. Предложена классификация технологий обеспыливания, позволяющая на стадии проектирования применять уточненный тип обеспыливания в зависимости от конкретных условий применения и интенсивности пылеобразования.

3. Разработана математическая модель определения типа нефтесвязующего вещества – тяжелого нефтяного остатка и его параметры, которые удовлетворяют требуемым условиям пылеподавления.

4. Обоснована методика определения физико-технических свойств поверхности карьерных автодорог и техногенных массивов, обеспыленных профилактической эмульсией, на основе установленных закономерностей

изменения прочности и водонасыщения образцов пылей (брикетов из органоминеральной смеси).

5. Обеспыливание пылящих поверхностей профилактическими эмульсиями обеспечивается склеиванием частиц пыли между собой и их удержанием под влиянием автотранспорта и атмосферных явлений в течение продолжительного времени. Ожидается, что прочность клеевой композиции будет сохраняться не менее трех лет.

6. Разработаны профилактические эмульсии на основе тяжёлых нефтяных остатков НПЗ (асфальт пропановой деасфальтизации) с улучшенными показателями дисперсности (менее 2,5 мкм), однородностью (остаток на сите № 0,014 менее 0,1 мм) и коэффициентом адгезии к рудным и нерудным материалам (от 1,8 до 2,0), что обеспечивает технологичность применения в геотехнологии и продуктивность при обеспыливании микродисперсных пылей.

7. Выполнено технико-экономическое обоснование технологии применения профилактической эмульсии при обеспыливании, получен потенциальный экономический эффект для отвала скальных пород Волковского рудника в размере 8,8 млн руб.

#### **Основные положения диссертации опубликованы в работах:**

##### Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных ВАК РФ

1. Кошкарров В. Е., Неволин Д. Г. Оценка прочностных свойств грунтов, укрепленных эмульсионными связующими при обеспыливании карьерных дорог // Известия вузов. Горный журнал. – 2019. – № 1. – С. 33–41.

2. Валиев Н. Г., Семисанов Д. И., Кошкарров В. Е., Ахметов А. Ф. Эмульсионные профилактические средства из тяжелых нефтяных остатков для обеспыливания карьерных дорог и техногенных отвалов // Известия вузов. Горный журнал. – 2015. – № 8. – С. 13–21.

##### Патенты

3. Пат. 121515 Российская Федерация, МПК E01 C 3/02. Дорожная одежда / Кошкарров В. Е. и др.; патентообладатель Урал. гос. лесотехн. ун-т. – № 2012120652/03 ; заявл. 18.05.12; опубл. 27.10.12, Бюл. № 30.

##### Монографии (научные издания)

4. Неволин Д. Г., Кошкарров Вл. Е., Кошкарров В. Е. Технология обеспыливания карьерных автодорог на основе битумно-полимерных материалов. – Екатеринбург: УрГУПС, 2015. – 135 с.

5. Кошкарров В. Е. Катионные битумные эмульсии // Развитие теории и практики инновационной деятельности на транспорте и в дорожном хозяйстве: монография / В. М. Самуйлов и др. – Екатеринбург: УрГУПС, 2017. – С. 111–128.

6. Неволин Д. Г., Кошкарров Вл. Е., Кошкарров В. Е. Исследование и разработка технологии обеспыливания карьерных автодорог и техногенных массивов профилактическими эмульсиями из тяжелых нефтяных остатков. – Екатеринбург: УрГУПС, 2020. – 186 с.

##### Рецензируемые журналы, сборники научных трудов, научные конференции

7. Кошкарров В. Е., Неволин Д. Г., Кошкарров В. Е. Организация производственного процесса обеспыливания карьерных автодорог и техногенных отвалов эмульсионными профилактическими связующими // Транспорт Урала. – 2016. – № 4. – С. 113–117.

8. Кошкарлов В. Е., Неволин Д. Г. [и др.] Организационно-технологические особенности обеспыливания поверхности угля при его перевозках железнодорожным транспортом // Транспорт Урала. – 2016. – № 4. – С. 33–40.

9. Кошкарлов В. Е., Ахметов А. Ф. Исследование электрокинетических свойств эмульсионных связующих // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2014. – № 8. – С. 16–20.

10. Кондратов В. К., Кошкарлов В. Е., Ракитин В. А. и др. Исследование адгезионных свойств органических вяжущих к твердым материалам методом модельных соединений в системе адгезив – субстрат // Вопросы проектирования и строительства автомобильных дорог: опыт и инновации: сб. науч. трудов ОАО «ГИПРОДОРНИИ». – Вып. 1 (60). – 2010. – С. 200–209.

11. Кошкарлов В. Е., Петленко С. В., Кошкарлов Вл. Е. Проблема обеспыливания грунтовых автомобильных дорог и оценка применения углеводородных эмульсий при их эксплуатации // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог: сб. науч. трудов ОАО «ГИПРОДОРНИИ». – Вып. 3 (62). – 2012. – С. 105–113.

12. Кошкарлов Вл. Е., Неволин Д. Г., Кошкарлов В. Е. Разработка технологии обеспыливания карьерных автодорог на основе битумно-полимерных материалов // Инновационный транспорт. – 2015. – № 2. – С. 64–71.

13. Кошкарлов В. Е., Дмитриев В. Н., Скрипкин А. Д., Кошкарлов В. Е. Внедрение инновационных технических решений по организации производства полимерно-битумных вяжущих и катионных битумных эмульсий // Инновационный транспорт. – 2012. – № 1 (2). – С. 16–20.

14. Кошкарлов В. Е., Фризен В. Г., Ракитин В. А. и др. Пылеобразование на карьерных дорогах // Материалы Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». – Екатеринбург: УГГУ, 2010. – С. 286–290.

15. Морозов Ю. П., Кошкарлов В. Е. и др. Пылеобразование и возможность окускования пыли шахтной плавки окисленных никелевых руд // Материалы XVII Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья». – Екатеринбург: УГГУ, 2012.

16. Кошкарлов В. Е. Исследование электрокинетических свойств эмульсионных вяжущих в дорожном строительстве // Материалы VII Международной конференции «Модернизация дорожного хозяйства. Опыт и перспектива». – Екатеринбург, 2014. – С. 62–63.

17. Кошкарлов В. Е., Ахметов А. Ф. Технология утилизации тяжелых нефтяных остатков при обеспыливании карьерных автодорог и хвостохранилищ // Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых «Актуальные проблемы науки и техники – 2014». – Уфа: УГНТУ, 2014.

18. Кошкарлов В. Е., Ахметов А. Ф., Еремин А. Я. Разработка технологии профилактики пылеобразования карьерных автодорог и хвостохранилищ углеводородными эмульсиями // Материалы 72-й Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы современной науки, техники и образования». – Магнитогорск: Изд-во МГТУ, 2014. – 95 с.