

На правах рукописи

САФИНА Азалия Марсовна



**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ГИДРООБЕСПЫЛИВАНИЯ ДЛЯ
СНИЖЕНИЯ АЭРОТЕХНОГЕННОГО
ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОДОРОГ НА
ПЕРСОНАЛ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ**

*Специальность 05.26.01 - Охрана труда (в горной
промышленности)*

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Санкт-Петербург – 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет»

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Кориунов Геннадий Иванович

Официальные оппоненты:

Романченко Сергей Борисович

доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский ордена «Знак Почета» научно-исследовательский институт противопожарной обороны Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий», отдел моделирования пожаров и нестандартного проектирования, ведущий научный сотрудник

Кобылкин Александр Сергеевич

кандидат технических наук, федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. Академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, лаборатория 2.3 Геотехнологических рисков при освоении газоносных угольных и рудных месторождений, старший научный сотрудник

Ведущая организация – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет»

Защита диссертации состоится 31 марта в 15 ч 00 мин на заседании диссертационного совета ГУ 212.224.09 Горного университета по адресу: 199106, Санкт-Петербург, 21-я линия, дом 2, ауд. №1171а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Санкт-Петербургского горного университета и на сайте www.spmi.ru.

Автореферат разослан 31 января 2020 г.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ
диссертационного совета



КОВАЛЬСКИЙ
Евгений Ростиславович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследований. По данным Минэнерго России за последние 20 лет добыча угля в Российской Федерации выросла с 260 до 439 млн т в год. Более 70 % угля добывается открытым способом. Все предприятия по открытой угледобыче используют для транспортировки циклично-поточную технологию, предусматривающую транспортировку горных пород с помощью автомобильного и конвейерного транспорта. При этом средняя грузонапряжённость технологических автодорог разрезов составляет 1–5 млн т нетто в год.

Рост объемов добычи угля предусматривает увеличение грузоподъемности автосамосвалов, а также развитие сети автомобильных автодорог на территориях угольных разрезов, что приводит к увеличению интенсивности пылевого загрязнения воздуха рабочей зоны. Кроме этого, использование высокопроизводительной техники на технологических автодорогах низшего и переходного типа увеличивает выход респирабельных фракций дорожной пыли, которая ввиду малого веса способна продолжительное время находиться в воздухе рабочей зоны во взвешенном состоянии и оказывать отрицательное воздействие на организм рабочего персонала.

Вопросами разработки мероприятий по улучшению условий труда по пылевому фактору на предприятиях угледобычи занимались В.Н. Азаров, П.В. Бересневич, Н.З. Битколов, А.П. Дремов, И.Г. Ищук, А.П. Зиновьев, А.П. Купин, В.Е. Кошкарлов, В.С. Никитин, М.Т. Осоедов, В.П. Тищенко, П.И. Томаков, П.Ч. Чулаков, Ю.В. Шувалов и др. Исследования этих ученых, в основном, направлены на разработку пылесвязывающих компонентов, рекомендуемых для использования на покрытиях технологических автодорог. Однако использование таких составов в большинстве случаев экономически нецелесообразно и малоэффективно с точки зрения подавления пыли респирабельной фракции.

В настоящее время применяемые способы гидрообеспыливания на угольных разрезах направлены на снижение уровня общей запыленности, а не тонкодисперсной, которая наиболее опасна с точки зрения воздействия на рабочий персонал. Кроме этого, «Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудо-

вого процесса Р 2.2.2006-05» не предусматривает учет фракционного состава пыли в формировании пылевой нагрузки, а в «Руководстве по борьбе с пылью и пылевзрывозащите на угольных и сланцевых разрезах» не прописаны параметры диспергации воды для борьбы с респираторной пылью на автодорогах. В связи с этим, обоснование параметров гидрообеспыливания, направленного на снижение доли респираторной фракции пыли от технологических автодорог в рабочих зонах разрезов, является актуальной задачей.

Цель работы. Снижение пылевой нагрузки на рабочий персонал за счет повышения эффективности противопылевых мероприятий при работе автотранспорта на угольных разрезах.

Идея работы. Определение периодичности и параметров пылеподавления на временных и постоянных автодорогах угольных разрезов при работе автотранспорта должно осуществляться с учетом количества и состава образующейся пыли респираторной фракции.

Основные задачи исследований:

1. Анализ источников пылеобразования при открытой разработке угольных месторождений и оценка их влияния на условия труда рабочего персонала.

2. Анализ существующих средств борьбы с пылью на отечественных и зарубежных предприятиях открытой угледобычи.

3. Исследование физико-химических свойств образующейся дорожной пыли.

4. Оценка факторов, влияющих на интенсивность пылеобразования от автодорог.

5. Разработка рекомендаций по выбору параметров систем пылеподавления респираторной фракции дорожной пыли угольных разрезов.

Научная новизна:

- установлена зависимость концентрации образующейся дорожной пыли на рабочих местах угольных разрезов от расстояния до автодороги и периодичности гидрообеспыливания;

- установлена зависимость концентрации витающей пыли респираторной фракции технологических дорог разрезов от параметров диспергации воды в системах гидрообеспыливания.

Основные защищаемые положения:

1. Прогнозная пылевая нагрузка на органы дыхания персонала угольных разрезов, принимаемая за основу при выборе мероприятий по их защите от воздействия пылевого фактора, должна рассчитываться с учетом физико-химических параметров дорожного покрытия и характеристик ветрового потока.

2. При определении аэротехногенной нагрузки от технологических автодорог на рабочие места угольных разрезов необходимо учитывать расстояние от источника запыленности и периодичность гидрообеспыливания.

3. Для повышения эффективности борьбы с витающей пылью респираторной фракции на автодорогах угольных разрезов необходимо использовать систему мелкодисперсного орошения с распылением воды при диаметре форсунок от 0,8 до 1,0 мм под давлением 0,6-0,8 МПа.

Теоретическая и практическая значимость работы:

1. Предложена методика оценки уровня аэротехногенного воздействия технологических автодорог на рабочую зону угольных разрезов и обоснована периодичность гидрообеспыливания на технологических автодорогах разреза.

2. Разработан метод расчета допустимого стажа работы в условиях угольного разреза, позволяющий учесть факторы, оказывающие основное влияние на суммарную пылевую нагрузку работников.

3. Даны рекомендации по усовершенствованию конструктивных параметров систем мелкодисперсного распыления на поливорошительных машинах (диаметр форсунок, давление в оросителях, высота расположения форсунок), позволяющие снизить количество респираторной фракции в воздухе рабочей зоны.

Методология и методы исследований. Работа выполнена с использованием комплекса методов исследований, включающего системный анализ литературных источников по вопросам пылеобразования и пылеподавления на основе исследований российских и зарубежных ученых; патентно-информационный анализ; лабораторные и натурные методы изучения процессов пылевыделения и пылеподавления; ситовой и микроскопический анализ дисперсности

материала при помощи лазерной дифракции. Был проведен элементный анализ дорожной пыли методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии. Исследования проводились с использованием оборудования Центра коллективного пользования и Научного центра геомеханики и проблем горного производства Санкт-Петербургского горного университета. Для математической обработки данных использовались современные специализированные компьютерные программы.

Достоверность полученных результатов подтверждается большим объемом аналитических, лабораторных и экспериментальных исследований параметров гидрообеспыливания; высокой сходимостью численных расчетов с данными инструментальных и опытно-промышленных исследований; результатами использования на Аршановском и Бородинском угольных разрезах рекомендаций по улучшению параметров рабочей среды по пылевому фактору.

Апробация работы. Основные положения и практические результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 7 международных и российских научно-практических конференциях, в том числе: Международной научно-практической конференции, посвященной 110-летию горного факультета «Горное дело в XXI веке: технологии, наука, образование» (НМСУ «Горный», г. Санкт-Петербург, 2015); 56 Konferencja Studenckich Kół Naukowych Pionu Górniczego (Краковская горно-металлургическая академия, г. Краков, Польша, 2015); 67th Berg und – Huttenmannischer Tag 2016 (Фрайбергская горная академия, г. Фрайберг, Германия, 2016); III Международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, 2016); Инновационной конференции «Природные процессы в нефтегазовой отрасли. Geonature 2017» (Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, 2017); Форуме проектов-программ Союзного государства – VI Форуме вузов инженерно-технологического профиля «Глобальная энергетика: Партнерство и устойчивое развитие стран и технологий» (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь, 2018); IV Международной научно-практической конференции

«Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, 2018).

Реализация результатов работы. В ходе работы был запатентован способ пылеподавления на угольных складах (Патент РФ №2532939), который может быть использован и на технологических автодорогах угольных разрезов. Предложенная система гидрообеспыливания для улавливания респираторной фракции пыли и метод для оценки пылевой нагрузки могут быть использованы на угольных разрезах Российской Федерации, а результаты научных исследований, полученные при их разработке, могут быть внедрены в учебный процесс в Горном университете при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Личный вклад автора. Сформулированы цель, идея и задачи исследований; выполнен анализ отечественной и зарубежной горно-технической литературы по проблеме диссертации; разработана методика и проведены натурные исследования параметров аэротехногенного воздействия временных и постоянных автодорог на рабочую зону угольных разрезов; проведены лабораторные испытания вопросов пылеобразования и пылеподавления для оценки эффективности предложенных мероприятий; выполнены обработка и интерпретация полученных результатов измерений; сформулированы основные защищаемые положения и выводы; разработаны практические рекомендации по улучшению условий труда по пылевому фактору на угольных разрезах.

Публикации. Основные результаты диссертационной работы содержатся в 9 опубликованных работах, в том числе 4 из них – в изданиях, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 1 – в издании, индексированном международной базой данных Scopus, 1 – в издании, индексированном международной базой данных Web of Science; получен 1 патент.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 93 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 102 наименований, включает 42 рисунка, 25 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, её актуальность, цель, идея, задачи, научная новизна, сформулированы основные защищаемые положения, практическая значимость и личный вклад автора.

В первой главе диссертационной работы на основе анализа горнотехнической литературы рассмотрены основные параметры аэротехногенного воздействия на воздушную среду угольных разрезов различных источников пылеобразования, их классификация, факторы, определяющие интенсивность пылевыделения. Обоснована необходимость учета аэротехногенного воздействия пыли от автодорог в оценке уровня пылевой нагрузки на рабочий персонал угольных разрезов. Проведена оценка влияния промышленной пыли на организм горнорабочих угольных разрезов. Рассмотрены перспективы развития проблемы пылеподавления на открытых горных работах. Сформулированы цели и задачи исследований.

Во второй главе приведены результаты натурных исследований на угольных разрезах Бородинский (Красноярский край) и Аршановский (республика Хакасия). Методом корреляционно-регрессионного анализа проведена оценка факторов, влияющих на интенсивность пылевыделения с поверхности автодорог. Приведены результаты химического анализа проб пыли, образующейся в процессе эксплуатации технологических автодорог.

В третьей главе показаны результаты лабораторных экспериментов процессов пылеобразования и пылеподавления, приведена оценка дисперсного состава пылеобразующего материала и отражены результаты лабораторных исследований параметров мелкодиспергированного орошения для эффективной коагуляции образующейся пыли.

В четвертой главе представлена количественная оценка содержания респирабельной фракции пыли в общей массе запыленности и даны рекомендации по усовершенствованию поливооросительного автомобиля для улавливания тонкодисперсной фракции пыли, предложены рекомендации по рациональным параметрам гидрообеспыливания технологических автодорог и требуемой очистке воды.

В заключении обобщены результаты проведенных исследований.

Основные результаты исследований отражены в следующих защищаемых положениях:

1. Прогнозная пылевая нагрузка на органы дыхания персонала угольных разрезов, принимаемая за основу при выборе мероприятий по их защите от воздействия пылевого фактора, должна рассчитываться с учетом физико-химических параметров дорожного покрытия и характеристик ветрового потока.

Интенсификация отработки месторождений полезных ископаемых открытым способом и применение крупнотоннажных автосамосвалов большой грузоподъемности для транспортировки вскрышных пород и полезного ископаемого сопровождается значительным увеличением интенсивности пылевыведения на разрезах. По результатам натурных экспериментов, в общем балансе пылевыведения на угольных разрезах доля выбросов от технологических автодорог составляет более 50%, что связано с большой их протяженностью и интенсивностью движения карьерного транспорта (таблица 1).

Таблица 1 - Доля концентрации пыли от каждого источника в общей концентрации пыли по зонам рабочего пространства

Зона рабочего пространства	Доля концентрации пыли φ, %
Зона выемочно-погрузочных работ	21,9
Зона буровых работ	15,6
Технологические автодороги	52,3
Зона внутренних отвалов	10,2

На примере разрезов «Бородинский» и «Аршановский» был проведен анализ запыленности рабочих мест согласно ГОСТ Р ИСО7708-2006 «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле».

Было установлено, что на рабочих местах, находящихся в местах ведения вскрышных, добычных работ и в зоне складирования

угля вблизи технологических автодорог наблюдается превышение ПДК по пылевому фактору в 4 раза. Согласно результатам проведения рентгено-флуоресцентной спектроскопии, образующаяся дорожная пыль характеризуется высокой степенью фиброгенности с содержанием SiO_2 более 60% (таблица 2).

Если за $C_{н.к}$ принять среднесменную концентрацию пыли в воздухе рабочей зоны, то при фиксированном расположении автодорог, их геометрических параметрах и заданных свойствах пород, средняя за календарный год концентрация пыли $C_{ср.г.н.}$ будет равна:

$$C_{ср.г.н.} = \sum_i \sum_j C_{н.к.} \alpha_i \beta_j, \quad (1)$$

где $C_{н.к.}$ - среднесменная концентрация пыли, мг/м³. α_i и β_j – повторяемость скоростей ветра и направлений его действия (доли ед.).

Коэффициенты α_i и β_j в уравнении (1) определяются на основе метеорологических данных, пример которых приведен на рисунках 1 и 2.

Для оценки условий труда при воздействии высокофиброгенной пыли, а также для расчета допустимого стажа работы персонала угольных разрезов воспользуемся методикой расчета по ГОСТ Р 54578-2011. Пылевая нагрузка с учетом воздействия ветрового потока составит:

$$ПН = C_{ср.г.н.} N V_{л} T, \quad (2)$$

где $C_{ср.г.н.}$ - средняя за календарный год концентрация пыли, мг/м³; N и T – соответственно число смен в календарном году и количество лет, отработанных в условиях контакта с пылью; $V_{л}$ – объем легочной вентиляции, м³.

Для оценки дисперсного состава витающей дорожной пыли была определена массовая доля респирабельных частиц (рисунок 3, таблица 3,4). Измерения проводились с помощью счетчика пылевых частиц *СЕМ DT-9880* в различных точках рабочей зоны внутри разреза. Кроме этого, была проведена подробная аэротехногенная съемка вдоль дороги, ведущей на отвал, где с периодичностью 1-2 машины в минуту проезжают крупногабаритные автомобили, возущие вскрышные породы (рисунок 4).

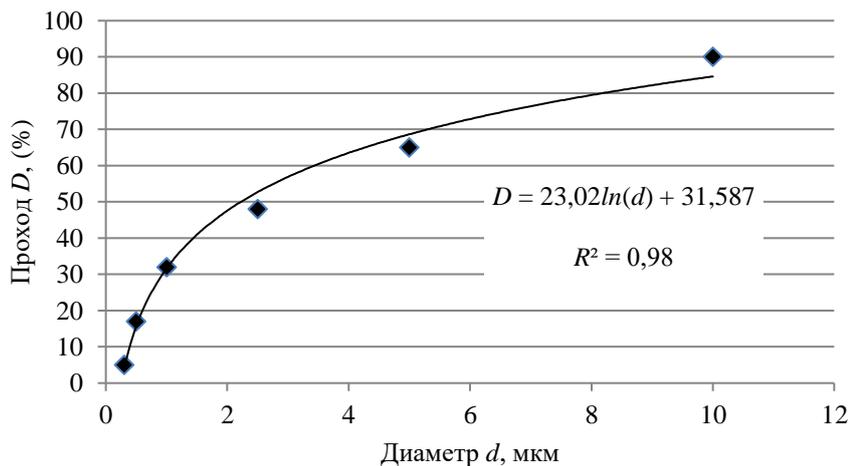


Рисунок 4 – Характеристика величины прохода (%) частиц пыли в зависимости от их диаметра

На основании вышеуказанных данных была получена таблица 5. Из данной таблицы видно процентное содержание респираторной фракции (2,5-10,0 мкм) в диапазоне микроскопической пыли. Отсюда следует, что масса частиц размером 2,5-10,0 мкм составит 42%.

Таблица 5 – Распределение фракций пыли по массе

Диапазон радиуса частиц d , мкм	0,3	0,3-0,5	0,5-1,0	1-2,5	2,5-5,0	5,0-10,0
Процентное содержание g , масс, %	5	12	15	16	17	25

В рамках учета респираторной фракции пыли при расчете суммарной пылевой нагрузки предлагается ввести коэффициент k , равный 0,42 и учитывающий процентное содержание тонкодисперсной фракции в общей массе.

Поэтому пылевая нагрузка может быть рассчитана следующим образом:

$$ПН_{\text{сум}} = C_{\text{ср.г.г.}} \cdot N \cdot V_{\text{л}} \cdot T \cdot k \quad (3)$$

где $C_{\text{ср.г.г.}}$ - средняя за календарный год концентрация пыли, мг/м³; N и T – соответственно число смен в календарном году и количество лет, отработанных в условиях контакта с пылью; $V_{\text{л}}$ – объем легочной вентиляции, м³; k – коэффициент, характеризующий количество респираторной фракции в общей массе.

Таким образом, при расчете пылевой нагрузки необходимо учитывать характеристики метеорологических параметров на угольном разрезе, а также фракционный и химический состав образующейся дорожной пыли.

2. При определении аэротехногенной нагрузки от технологических автодорог на рабочие места угольных разрезов необходимо учитывать расстояние от источника запыленности и периодичность гидрообеспыливания.

В настоящий момент основным теоретическим подходом к оценке аэротехногенной ситуации, формируемой в зонах автомобильных дорог на угольных разрезах, является методика расчета запыленности, предложенная А.Н. Купиным. В ее основе лежит учет параметров автотранспортного потока (длины, ширины, высоты, массы автомобиля, ширины протектора шин, диаметра колес и др.), а также толщины слоя пыли.

При этом методика не позволяет учитывать механизмы распространения пылевого облака в зависимости от расстояния до источника пылеобразования и времени, прошедшего после проведения пылеподавляющих мероприятий. С целью оценки данных факторов была проведена серия натуральных экспериментов на Аршановском разрезе. Измерения проводились на разных типах дорог с различным покрытием. В качестве источника пылеобразования, формируемого при механическом разрушении щебня и горельника, выступили постоянные автодороги, а в качестве источника угольной пыли – временные автодороги. Для создания базы данных об аэротехногенной ситуации в зонах временных и постоянных автомобильных дорог использовались фактические замеренные значения концентрации пыли, температура и влажность воздуха, скорость ветра.

Кроме этого, учитывались масса проходимого автомобиля, его скорость и время, прошедшее после проведения пылеподавляющих мероприятий (орошения водой специальными поливальными машинами).

В дальнейшем на основании полученных данных был осуществлен детальный корреляционно-регрессионный анализ зависимости концентрации пыли от различных факторов. В качестве исходных данных использованы различные виды пыли, приведенные в таблице 6.

Анализируя полученные значения оценки значимости факторов, можно отметить, что в наибольшей степени на формирование запыленности влияют расстояние от автодороги и время, прошедшее после орошения дорожного покрытия.

Для пыли, образующейся с автодороги с покрытием из горельника уравнение регрессии будет иметь вид:

$$C_r = 41,6 - 0,05x - 0,008t, \quad (7)$$

где C_r – концентрация пыли горельника, мг/м³; x – расстояние до автодороги, м; t – время, прошедшее после орошения, сек; при этом множественный коэффициент корреляции уравнения $R=0,85$, коэффициент детерминации $R^2=0,72$.

Для пыли, образующейся при эксплуатации покрытия из щебня уравнение регрессии будет иметь вид:

$$C_{щ} = 39,3 - 0,034x - 0,025t, \quad (8)$$

где $C_{щ}$ – концентрация пыли щебня, мг/м³; x – расстояние до автодороги, м; t – время, прошедшее после орошения, сек; при этом множественный коэффициент корреляции $R=0,82$, коэффициент детерминации $R^2=0,67$.

Уравнение регрессии для пыли, образующейся с покрытия временной автодороги будет иметь вид:

$$C_y = 39,1 - 0,036x - 0,036t, \quad (9)$$

где C_r – концентрация угольной пыли, мг/м³; x – расстояние до автодороги, м; t – время, прошедшее после орошения, сек; при этом множественный коэффициент корреляции $R=0,88$, коэффициент детерминации $R^2=0,77$.

К примеру, для дорожной пыли из горельника, уравнение регрессии показывает, что при увеличении расстояния на 1% (при не-

изменном времени после орошения) концентрация пыли уменьшается в среднем на 0,05 единиц, а при уменьшении времени после орошения на 1% (при неизменном расстоянии от источника пылеобразования) уровень пыли уменьшится в среднем на 0,008 единиц.

Таким образом, в результате корреляционно-регрессионного анализа были получены уравнения регрессии для концентрации дорожной пыли, образующейся в результате эксплуатации различных покрытий технологических автодорог. В дальнейшем они могут быть использованы на стадии проектирования объектов открытой угледобычи для расчета пылеобразования. Это позволит еще на начальной стадии эксплуатации горного предприятия принимать превентивные мероприятия для сокращения пылевых выбросов с технологических автодорог.

3. Для повышения эффективности борьбы с витающей пылью респирабельной фракции на автодорогах угольных разрезов необходимо использовать систему мелкодисперсного орошения с распылением воды при диаметре форсунок от 0,8 до 1,0 мм под давлением 0,6-0,8 МПа.

Главной задачей охраны воздушного бассейна угольных разрезов от загрязнений является сокращение выбросов до допустимых значений.

Для улучшения показателей пылеподавления тонкодисперсной пыли респирабельной фракции на технологических автодорогах разрезов в используемую воду добавляют различные смачиватели.

При этом пылесвязывающие вещества для дорожных покрытий должны обладать следующими качествами: хорошим смачиванием и связыванием песчано-пылевых фракций, соответствием вязкостно-температурных свойств условиям применения (температура вспышки, температура застывания), технологичностью (использование в готовом виде); отсутствием агрессивных свойств по отношению к резине и металлу; нетоксичностью, недефицитностью и экономичностью применения; немаловажным также является возможность применения в различных климатических зонах. В наибольшей степени данными качествами обладают различные системы гидрообеспыливания, которые в настоящее время являются самыми распространенными способами борьбы с дорожной пылью. Для оценки

эффективности пылеподавления при использовании гидрообеспыливания были проведены лабораторные испытания.

На первом этапе определялась эффективность пылеподавления тонкодисперсной фракции пыли при различных способах орошения.

Измерения проводились в лабораторной установке с объемом воздуха $0,0225 \text{ м}^3$ над испытуемой пылящей поверхностью площадью $0,15 \text{ м}^2$, скорость нагнетания воздуха составляла 3 м/с . Вода для орошения использовалась согласно ГОСТ Р 51232-98 «Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества».

На втором этапе исследована эффективность пылеподавления в зависимости от параметров распыления: давления подаваемой жидкости и диаметра форсунок. Давление варьировалось от $0,3$ до $1,3 \text{ МПа}$, диаметр выходного отверстия форсунок соответственно от $0,5$ до $3,0 \text{ мм}$ (рисунок 6).

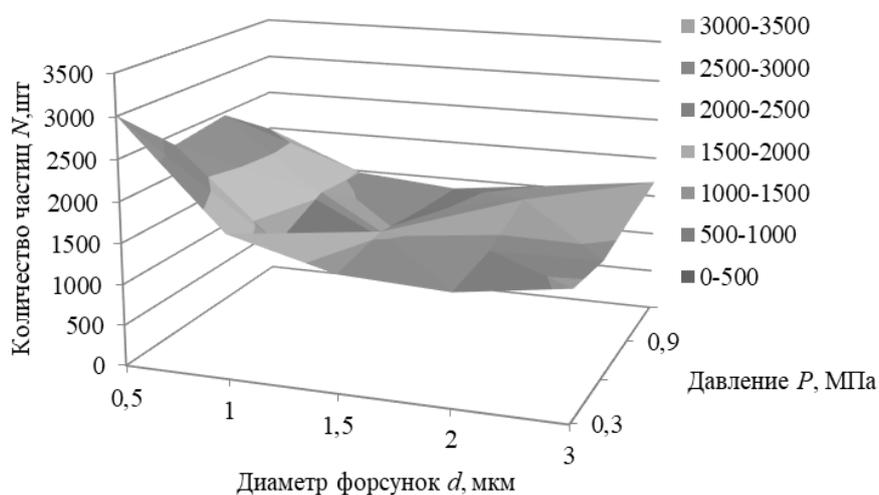


Рисунок 6 – Зависимость количества частиц в воздухе над пылящей поверхностью от диаметра форсунок и давления подаваемой воды

Из графика, представленного на рисунке 6, видно, что наименьшее количество частиц диаметром менее 10 мкм наблюдается при давлении подаваемой жидкости в диапазоне от 0,6-0,8 МПа и диаметре форсунки соответственно от 0,8 до 1,0 мм.

Данные, полученные в результате проведенных лабораторных экспериментов, легли в основу рекомендаций по уменьшению количества дорожной пыли респираторной фракции, образующийся при эксплуатации технологических автодорог угольных разрезов. Основываясь на результатах эксперимента, предлагается в дополнение к имеющемуся оросительному элементу на поливооросительных автомобилях разреза установить систему низконапорного мелкодиспергированного орошения (рисунок 7).

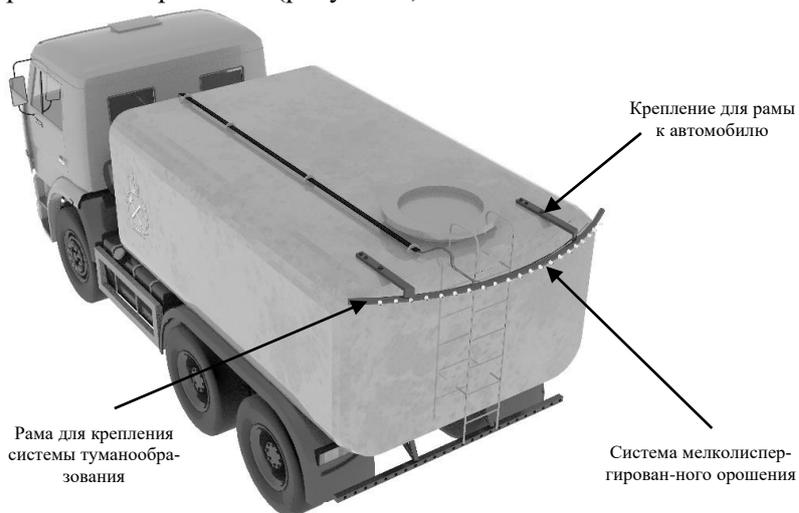


Рисунок 7 – Расположение системы мелкодиспергированного орошения на автомобиле

В предложенной системе форсуночного распыления подача воды осуществляется под давлением 0,69 МПа. Система гидрообеспыливания располагается на оросительном автомобиле параллельно его поперечной оси на высоте 3 метра от дорожного покрытия. Такое расположение позволит увеличить зону орошения и захвата пы-

левых частиц. Предполагается, что размер выходного отверстия форсунок будет 1 мм с углом распыления 120° , что позволит увеличить корневой угол водяного сектора и повысит эффективность противопылевых мероприятий. Кроме этого, увеличение корневого угла создает предпосылки для увеличения шага установки форсунок на рампе для того, чтобы избежать перекрытия между собой мощных секторов и непроизводительного расхода воды.

Предложенный способ пылеподавления технологических автодорог, основанный на использовании комбинированного способа пылеподавления (обычный полив и мелкодиспергированное орошение) позволяет снизить долю респираторной фракции в воздухе рабочей зоны на 40% по результатам лабораторных исследований. Кроме этого, при расчете экономической эффективности предлагаемых мероприятий установлено, что суммарные затраты на модернизацию поливооросительных автомобилей не превышают 2% от отчислений, которые можно использовать на мероприятия по охране труда в рамках программы софинансирования предупредительных мер по сокращению травматизма и профзаболеваний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой содержится решение актуальной задачи снижения аэротехногенного воздействия технологических автодорог на рабочую зону угольных разрезов.

Основные научные результаты и практические рекомендации заключаются в следующем:

1. Наличие технологических автодорог ведет к увеличению запыленности рабочих мест. Увеличение пылевых выбросов напрямую зависит от интенсивности движения. Скорость воздушного потока, влажность верхнего слоя дорожного покрытия и его фракционный состав также влияет на количество пыли, взмываемой с поверхности техногенных автодорог.

2. Установлено, что запыленность рабочих мест угольных разрезов, помимо технологических факторов (буровзрывные работы, погрузка, транспортирование) до 50 % определяется аэротехногенным воздействием технологических автодорог при работе крупнотоннажного транспорта.

3. При расчете допустимого стажа работы рабочих угольных разрезов необходимо учитывать дисперсный и химический состав дорожной витающей пыли, а также «розу ветров» района расположения разреза.

4. В результате фракционного анализа дисперсного состава образующейся пыли было установлено, что до 42% дорожной пыли представлено размером от 2,5 до 10,0 мкм. Полученные данные полностью коррелируются с данными микроскопического анализа, полученным в ходе проведения лазерной дифракции.

5. Экспериментально установлена зависимость пылевыведения респираторной фракции от давления подаваемой жидкости и диаметра форсунок.

6. Многофакторным анализом данных натурных исследований запыленности установлены параметры, которые в значительной степени влияют на концентрацию пыли вблизи технологических автодорог с различным покрытием.

7. Получены уравнения регрессии для пыли автодорог низшего и переходного типа, которые могут использоваться на этапе проектирования горного предприятия и позволят принимать превентивные мероприятия для сокращения пылевых выбросов.

8. Предложенная технология снижения пылевыведения с технологических автодорог, позволяет снизить долю респираторной фракции в воздухе на 40%. При этом механизмы коагуляции взвешенной пыли респираторной фракции водяным орошением является перспективным направлением развития темы диссертации.

9. Установлено, что сумма затрат на модернизацию поливoroсирительного оборудования не превышает 2% от отчислений, которые могут быть реализованы в рамках программы софинансирования предупредительных мер по сокращению травматизма и профзаболеваний.

НАИБОЛЕЕ ЗНАЧИМЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Корнев, А.В. Роль пылевого фактора в вопросах обеспечения промышленной безопасности и охраны труда на предприятиях угледобывающей отрасли / Корнев А.В., Корнева М.В., Сафи-

на А.М. // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн.-2015.-№ 11; Спец. вып. 60-2.-С.332- 335.

2. Коршунов, Г.И. Интенсификация процесса гидрообеспыливания при подземной разработке угольных месторождений / Корнев А.В., Корнева М.В., Коршунов Г.И., Ерзин А.Х., **Сафина А.М.** // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн.-2015.-№ 11; Спец. вып. 60-2.-С.335-345.

3. Коршунов, Г.И. Рекомендации по уменьшению запыленности автодорог разреза «Бородинский» АО «СУЭК-Красноярск» / Коршунов Г.И., **Сафина А.М.** // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн. – 2017. – № 4; Спец. вып. 5-1. – С.122 – 128.

4. Кулецкий, К.В. Модернизация системы гидроорошения поливочных автомобилей на угольных разрезах / Кулецкий К.В., Лунев В.Г., Летув К.В., **Сафина А.М.** // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн.-2019.-№4; Спец. вып. 6.-С.140-146.

Публикации в изданиях, индексируемых международной базой данных Scopus:

1. Korshunov, G.I. Dust control methods in open-pit mining. Current state of physical & chemical research / Korshunov G.I., Kovshov S.V., **Safina A.M.** // Ecology, Environment and Conservation Paper. – 2017.-Vol.23, Issue 2, -P. 883-889.

Публикации в изданиях, индексируемых международной базой данных Web of Science:

1. Buldakova, E.G Regression Analysis of Dust Formation Processes from Haul Roads on the Coal Open – Pit Mines in Eastern Siberia / Buldakova E.G., Kovshov S.V., **Safina A.M.** // International Journal of Ecology & Development.-2019.-Vol. 34, Issue 2, P.17-28.

Патенты:

1.Патент № 2532939 Российская Федерация, МПК E21F 5/02 (2006.01). Способ пылеподавления на угольных складах: № 2013137516/03 : заявл. 09.08.2013: опубл. 20.11.2014 / Ковшов С.В., Ковшов В.П., Ерзин А.Х., **Сафина А.М.** ; заявитель НМСУ «Горный». – 6 с. : ил. – Текст : непосредственный.

Таблица 2 – Химический анализ образующейся пыли от постоянной автодороги

Соединения	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	TiO ₂	CaO	P ₂ O ₅	MnO	SO ₃	Cr ₂ O ₃
Образец №1, %	78,3832	11,6035	5,1585	1,3571	1,1613	1,0766	0,6544	0,2220	0,1872	0,1123	0,0591	0,0249
Образец №2, %	65,3432	24,2371	3,4431	2,5446	1,8781	1,8042	0,2647	0,1470	0,1364	0,0930	0,0132	0,0123
Образец №3, %	61,1207	19,5246	7,3239	3,4440	2,0302	1,8550	1,6573	1,3828	1,3174	0,2148	0,1292	0,1272

Таблица 3 – Массовые значения выбросов респираторной фракции пыли вдоль технологической автодороги

Место замера	N _{0,3}	m, мкг	N _{0,5}	m, мкг	N ₁	m, мкг	N _{2,5}	m, мкг	N ₅	m, мкг	N ₁₀	m, мкг
5 м от дороги на вскрышу	41877	0,0066	27431	0,0043	6120	0,00097	1949	0,00031	135	0,000021	259	0,000041
Отвал 10 м от дороги	15970	0,0025	8280	0,0013	1747	0,00028	407	0,00006	42	0,000007	80	0,000013
Отвал 25 м от дороги	31931	0,0050	18671	0,0030	4185	0,00066	960	0,00015	101	0,000016	247	0,000039
Отвал 50 м от дороги	25014	0,0040	15919	0,0025	3571	0,00056	797	0,00013	76	0,000012	144	0,000023
Склад 100 м от дороги	17735	0,0028	8038	0,0013	1429	0,00023	248	0,00004	24	0,000004	46	0,000007
200 м от дороги	13845	0,0022	4588	0,0007	612	0,00010	86	0,00001	9	0,000001	16	0,000002

Таблица 4 – Концентрация выбросов респираторной фракции пыли вдоль технологической автодороги

Место замера	N _{0,3}	C, мг/м ³	N _{0,5}	C, мг/м ³	N ₁	C, мг/м ³	N _{2,5}	C, мг/м ³	N ₅	C, мг/м ³	N ₁₀	C, мг/м ³
5 м от дороги на вскрышу	41877	0,028	27431	0,0185	6120	0,00412	1949	0,00131	135	0,000091	259	0,000174
Отвал 10 м от дороги	15970	0,011	8280	0,0056	1747	0,00118	407	0,00027	42	0,000029	80	0,000054
Отвал 25 м от дороги	31931	0,021	18671	0,0126	4185	0,00282	960	0,00065	101	0,000068	247	0,000166
Отвал 50 м от дороги	25014	0,017	15919	0,0107	3571	0,00240	797	0,00054	76	0,000051	144	0,000097
Склад 100 м от дороги	17735	0,012	8038	0,0054	1429	0,00096	248	0,00017	24	0,000016	46	0,000031
200 м от дороги	13845	0,009	4588	0,0031	612	0,00041	86	0,00006	9	0,000006	16	0,000010

Таблица 6 – Исходные данные для проведения корреляционно-регрессионного анализа

Вид пыли	Концентрация, мг/м ³	Расстояние, м	Скорость ветра, м/с	Скорость транспорта, м/с	Время после орошения, мин	Температура воздуха, °C	Влажность воздуха, %	Масса автомобиля, т
Угольная	45,2÷22,5	5÷400	0,8÷8,4	60-25	5÷90	19,3÷24,6	50,4÷80	250÷998
Пыль щебня	52,3÷19,6	1÷450	0,4÷6,6	60-25	8÷100	19,3÷24,6	50,4÷80	250÷998
Пыль горельника	43,7÷35,2	1÷300	0,6÷5,2	60-25	9÷95	19,2÷25,1	53,6÷74,1	250÷998

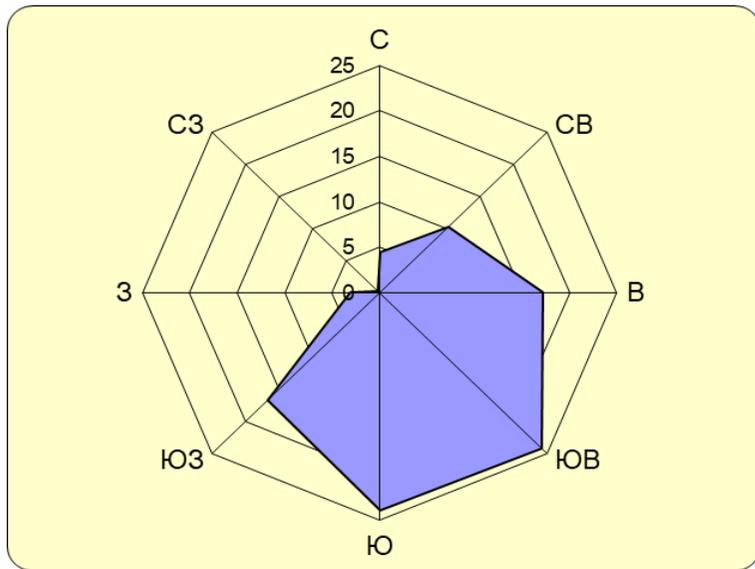


Рисунок 1 – Роза ветров по повторяемости направления скорости ветра на Аршановском разрезе (респ. Хакасия)

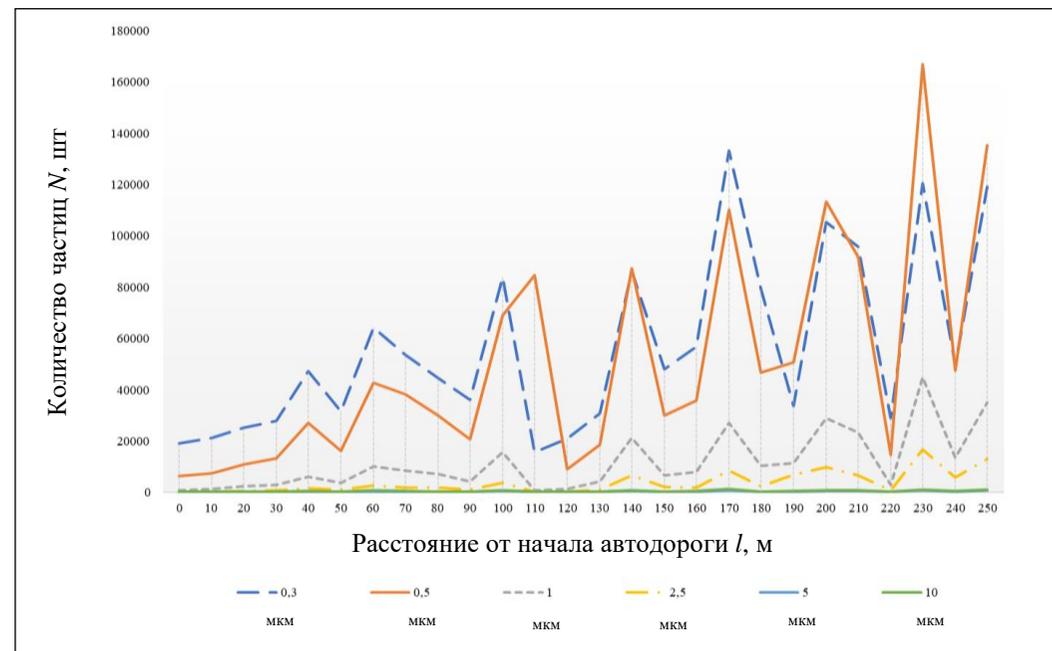


Рисунок 3 – Распределение частиц респирабельной фракции вдоль технологической автодороги

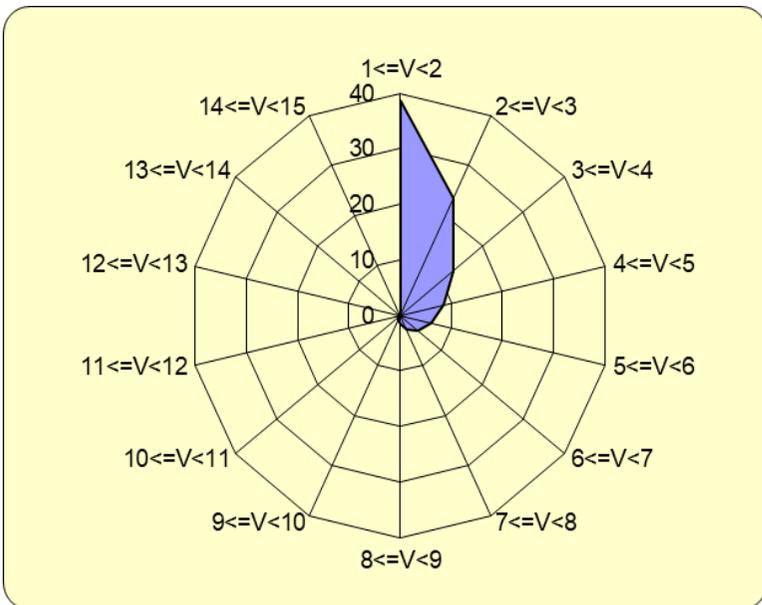


Рисунок 2 – Роза ветров по повторяемости скорости ветра на Аршановском разрезе (респ. Хакасия)

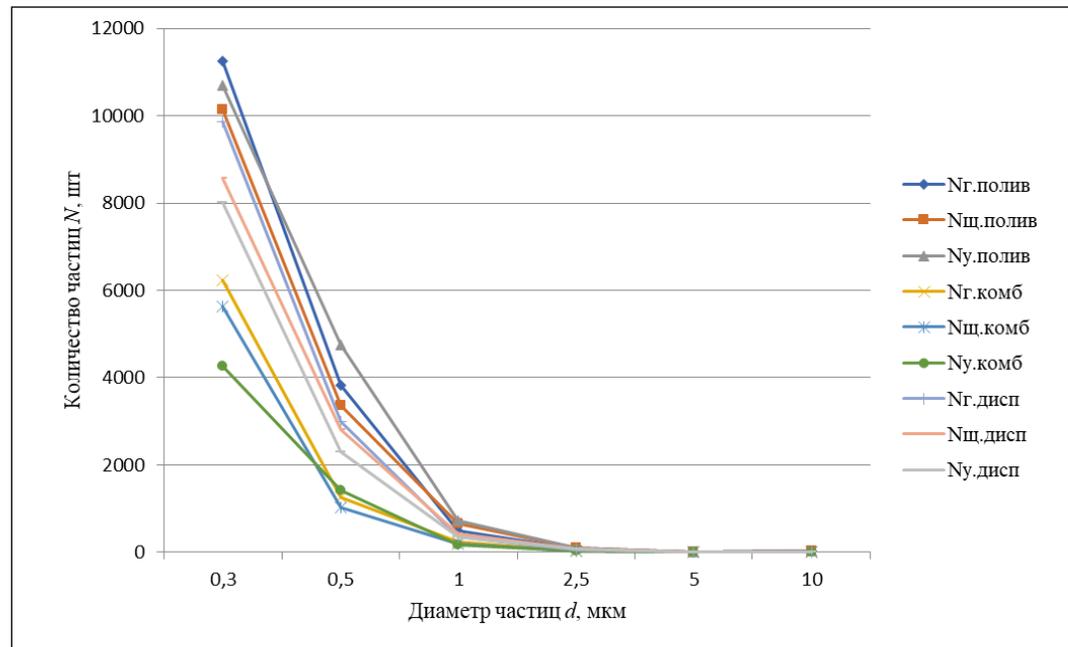


Рисунок 5 – Графики зависимости количества частиц пыли горельника, щебня и угля при орошении поливом, мелкодиспергированном распылении и комбинированном способе