

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Санкт-Петербургский горный университет»



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)

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук, профессор
Г.И.Коршунов

Санкт-Петербург – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ПЫЛЕВОМУ ФАКТОРУ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ	10
1.1 Источники пылеобразования	10
1.2 Способы борьбы с пылью при ведении открытых горных работ	16
1.3 Оценка условий труда по пылевому фактору на угольных разрезах	19
1.4 Пути совершенствования методов и способов пылеподавления	21
1.5 Выводы по главе 1	22
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОДОРОГ НА РАБОЧУЮ ЗОНУ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ.....	24
2.1 Влияние технологии ведения горных работ на процессы пылеобразования ...	24
2.2 Химический и дисперсный состав взвешенной дорожной пыли.....	26
2.3 Оценка влияния пылевого аэрозоля от автодорог на формирование пылевой нагрузки на работников разреза.....	35
2.4 Многофакторный корреляционно-регрессионный анализ факторов, влияющих на запыленность	42
2.5 Выводы по главе 2.....	51
ГЛАВА 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ И ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ.....	52
3.1 Постановка задачи исследований.....	52
3.2 Лабораторный стенд для проведения исследований.....	57
3.3 Методика экспериментальных исследований процессов пылеобразования и пылепереноса от автодорог	61

3.4 Результаты лабораторных исследований параметров гидрообеспыливания ...	65
3.5 Выводы по главе 3	70
ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЗАПЫЛЕННОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ ...	72
4.1 Расчет количества респирабельной фракции пыли в общей массе	72
4.2 Выбор параметров гидрообеспыливания и технология пылеподавления	74
4.3 Требования к составу воды для гидрообеспыливания	76
4.4 Выводы по главе 4	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	79
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	81

ВВЕДЕНИЕ

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 длительное время находится 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 трудового 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 респирабельной пылью на автодорогах. В связи с этим, обоснование параметров гидрообеспыливания, направленного на снижение доли респирабельной фракции пыли от технологических автодорог в рабочих зонах разрезов, является актуальной задачей.

Диссертационная работа выполнена в рамках хд № 0055/19 от 15.04.19 «Разработка эффективных мероприятий по пылеподавлению на автомобильных дорогах угольных разрезов».

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 респирабельной 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 респирабельной 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 респирабельной 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 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.

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 поливооросительных машинах (диаметр форсунок, давление в оросителях, высота расположения форсунок), позволяющие снизить количество респирабельной 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 респирабельной 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 Горного университета при изучении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Личный вклад автора. Сформулированы цель, идея и задачи исследований; выполнен анализ отечественной и зарубежной горнотехнической 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, индексируемом международной базой данных Scopus, 1 – в издании, индексируемом 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.

ГЛАВА 1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ПЫЛЕВОМУ ФАКТОРУ НА УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗАХ

1.1 Источники пылеобразования

В мировом потреблении топливно-энергетических ресурсов на долю угля приходится 25-30%. Обеспечение объемов его добычи обусловлено развитием горно-транспортного оборудования и интенсивной разработкой новых месторождений. При этом реализация добычи угля происходит в основном открытым способом (более 70%) [27, 38].

За период с 2000 года по 2016 год производство угля подземным способом увеличилось на 13%, а открытым – более, чем на 100 миллионов тонн (рисунок 1.1).

По информации Топливо-энергетического комплекса (ТЭК) в Российской Федерации наблюдается положительная динамика роста угольной отрасли в последние годы несмотря на кризис. Объемы добычи угля в России по видам представлены на рисунке 1.2 [64, 83].

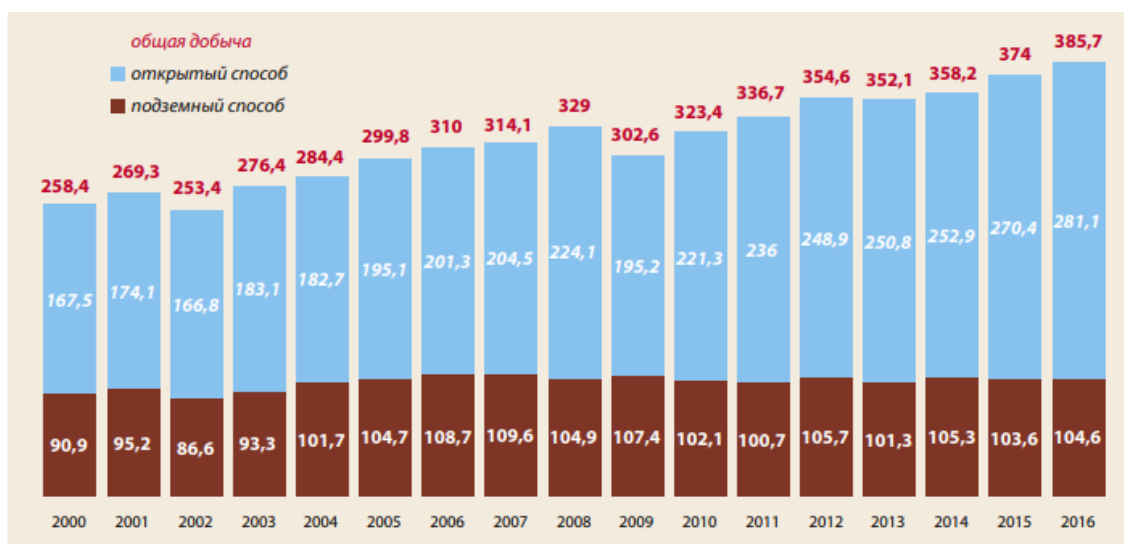


Рисунок 1.1 – Добыча угля в РФ с 2000 по 2016 годы в зависимости от способов производства, в млн. т.



Рисунок 1.2 – Структура добычи угля в РФ по видам за 2010-2018 годы, в млн. т.

Таким образом, доля открытой угледобычи в общей массе угольной промышленности составляет более 73%.

В соответствии с Энергетической стратегией, доля угля в потреблении топлива увеличится до 34-36%, причем преимущественно за счет открытой угледобычи [68].

В настоящее время развитие добычи угля открытым способом происходит за счет интенсификации всех производственных этапов (от бурения скважин и первичного дробления до погрузки и транспортирования горной массы), использования большого числа высокопроизводительных машин (буровых станков, роторных экскаваторов и мехлопат), а также железнодорожного и автомобильного транспорта. Кроме того, на некоторых разрезах внедряется бестранспортная система (поточная, циклично-поточная технология, связанная с применением системы конвейеров, дробилок, грохотов и т. д.).

В процессе открытой и подземной добычи угля, а также при его обогащении происходит образование неорганической пыли, частицы которой улетучиваются в атмосферу. Выбросы неорганической пыли относятся к группе неорганизованных выделений, которые осуществляются со значительных территорий [79, 81].

Загрязнение воздуха в районе предприятий угольной промышленности зависит от климатических и горно-геологических условий. Например, при сухом континентальном климате, особенно при сильных ветрах, создаются условия для интенсификации поступления в приземные слои атмосферы и перемещения в них пыли. Уже при скорости ветра 2 м/с сухая пыль сдувается и переносится на значительные расстояния [4, 7].

Основными источниками пылеобразования при добыче угля открытым способом являются технологические процессы, связанные с процессом подготовки горных пород к выемке, добычи и транспортировки угля, а также внешние и внутренние отвалы. Кроме этого, в воздухе рабочей зоны образуется мелкодисперсная пыль с различными свойствами, улавливание которой затруднено имеющимися пылеподавляющими мероприятиями [23, 28].

Угольные разрезы располагаются в различных климатических условиях, имеют сложные горно-геологические условия, кроме этого, глубина ведения горных работ в настоящее время достигает порядка 100 м и перспектива ее увеличения сохраняется. Увеличение глубины разрезов, а также рост объемов добычи способствует увеличению количества выбросов вредных веществ в воздух рабочей зоны и препятствует естественному воздухообмену [10, 24].

Многочисленными исследованиями установлено [41], что на состояние атмосферы разреза в целом и ее отдельных участков значительно влияют метеорологические параметры. А в некоторых случаях они являются причиной интенсивного пылеобразования. Тем не менее, именно выбросы неорганической пыли наряду с оксидом углерода занимают лидирующие позиции в общей массе загрязнителей атмосферы угольных разрезов (рисунок 1.3).

Состав воздуха на предприятиях открытой угледобычи определяется интенсивностью естественного воздухообмена и количеством примесей, поступающих в его атмосферу. Дальнейшее поведение примесей в карьерном пространстве, а именно их распространение, накопление, вынос за пределы зависит от интенсивности естественного проветривания. В свою очередь естественное

проветривание определяется циркуляцией воздушных масс, которая обусловлена комплексом географических характеристик района и горно-техническими условиями предприятия [33].

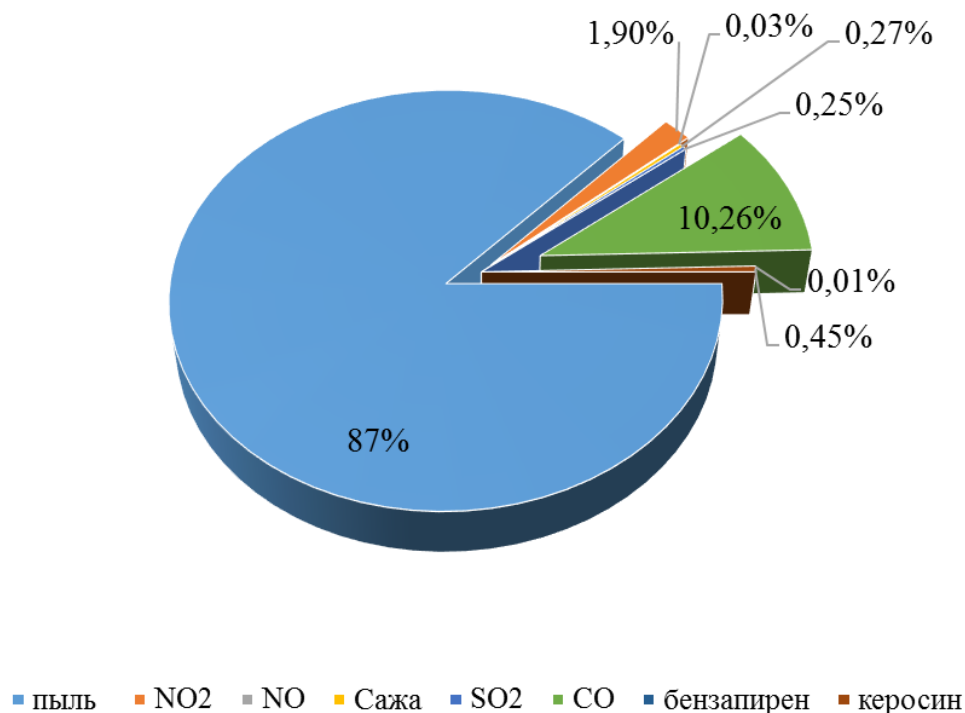


Рисунок 1.3 – Основные типы вредных веществ в атмосфере угольного разреза

К внутренним источникам пылеобразования относят буровые и взрывные работы, обогатительные фабрики, отвалы вскрышных пород и временные склады, технологические автодороги, хвостохранилища и др. Процентное содержание выбросов пыли по отдельным технологическим процессам представлено на рисунке 1.4.

Кроме этого, к внутренним источникам [43] относятся различные машины и механизмы (погрузки-разгрузки угля), а также окислительные процессы и эндогенные пожары, возникающие на месторождении.

Количество неорганической пыли в атмосфере разреза, согласно [82], зависит от применяемой технологии выемки угля, горной техники и ее сосредоточенности, влажности и крепости горной массы, времени года, глубины разреза, наличия и эффективности противопылевых мероприятий и колеблется в больших пределах – от единицы до сотен миллиграммов на кубометр воздуха.

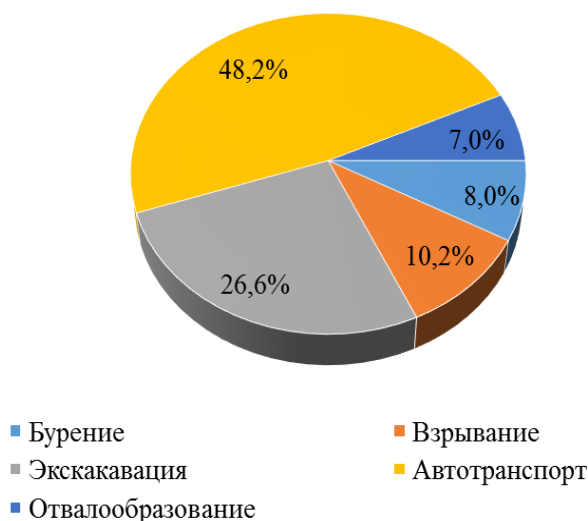


Рисунок 1.4 – Общая структура выбросов пыли по различным технологическим процессам

Внутренние источники пылеобразования могут быть точечными и линейными. В свою очередь они подразделяются на неподвижные (экскаваторы, конвейеры) или перемещающиеся (бульдозеры, автосамосвалы).

Все производственные операции, выполняемые на угольных разрезах, сопровождаются пылеобразованием. Кроме этого, после прекращения деятельности горного предприятия технологические автодороги, пляжные зоны хвостохранилищ и отвалы вскрышных пород продолжают оставаться источниками пылевого воздействия. Пылевые выбросы от технологических источников находятся в размере нескольких десятков тысяч тонн в год, а перенос пыли осуществляется на несколько десятков километров. Дисперсный состав такой пыли представлен размером 10 мкм, преобладают частицы с размером менее 5 мкм.

Интенсивность пылевыделения I от источника непрерывного действия, оборудованного аспирационными устройствами или пылеуловителями, определяется из выражения 1.1.

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n N_i Q_i}{n}, \text{ мг/сек}, \quad (1.1)$$

где N_i – запыленность выбрасываемого в атмосферу воздуха по результатам отдельных замеров, мг/м³; Q_i – количество выбрасываемого в атмосферу воздуха,

м³/сек; n – число замеров, устанавливаемое исходя из величины нормированного отклонения, коэффициента вариации и допустимой ошибки.

Для определения интенсивности пылевыведения при равномерном состоянии атмосферы, т.е. при наличии ветра и вертикальном градиенте температуры, не превышающем адиабатического, установлены зависимости 1.2-1.4:

1) в условиях точечного источника непрерывного выделения пыли

$$I = \frac{1}{k} x^2 \varphi_{zp}^2 N_x u, \text{ мг/сек}, \quad (1.2)$$

где k – коэффициент, величина которого зависит от схемы проветривания карьера и расположения источника пылевыведения относительно поверхности рабочей площадки уступа; x – расстояние от источника до точки на оси факела пылевого потока, в которой определяется концентрация пыли N_x (в мг/м³) с учетом запыленности фона атмосферы карьера, м; $\varphi_{гр}=0,122u+0,22$ и $\varphi_{гр}=0,45u+0,22$; u – скорость воздушного потока у источника пылевыведения, м/сек.

2) в условиях линейного источника интенсивность пылевыведения, приходящаяся на единицу его длины

$$I = \frac{1}{k} x \varphi_{zp} N_x u, \text{ мг/сек}\cdot\text{м}, \quad (1.3)$$

где k – коэффициент, величина которого зависит от схемы проветривания карьера и расположения источника пылевыведения относительно поверхности рабочей площадки уступа; x – расстояние от источника до точки на оси факела пылевого потока, в которой определяется концентрация пыли N_x (в мг/м³) с учетом запыленности фона атмосферы карьера, м; $\varphi_{гр}=0,122u+0,22$ и $\varphi_{гр}=0,45u+0,22$; u – скорость воздушного потока у источника пылевыведения, м/сек.

3) в условиях перемещающегося точечного источника непрерывного выделения пыли для одного автосамосвала

$$I = \frac{k' v_{cp} u \varphi_{zp}^2 x_1^2 (m_1 - m_0)}{N_m Q (b_{cp} + 2x_1 \varphi_{zp})}, \text{ мг/сек}, \quad (1.4)$$

где $k'=0,94$ при рециркуляционной и $k'=1,44$ при прямоточной системе; v_{cp} – средневзвешенная скорость движения груженых и порожних автосамосвалов, м/сек; x_1 – расстояние от продольной оси дороги до замерной точки, м; m_1, m_0 – масса пыли, полученная за одинаковый промежуток времени при равных скоростях просасывания воздуха через фильтры, расположенные соответственно с подветренной и наветренной стороны автодороги, мг; N_m – число груженых и порожних автосамосвалов, прошедших за время отбора проб на запыленность воздуха; Q – скорость просасывания воздуха через фильтр, м³/сек; b_{cp} – средневзвешенная величина базы различных типов автосамосвалов, прошедших за время отбора проб, м [94].

Наиболее опасным по пылевому и газовому факторам на угольном разрезе является использование автомобильного транспорта для транспортировки угля. Эксплуатация технологических автодорог низшего и переходного типа приводит к выбросам мелкодисперсной пыли (рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Пылеобразование при транспортировании горной массы

При этом пылевые частицы адсорбируют на себе молекулы выхлопных газов и становятся еще более опасными при поступлении в организм человека.

1.2 Способы борьбы с пылью при ведении открытых горных работ

Места проведения горного производства с использованием пылевидных материалов, а также рабочие места у машин для дробления, размола и просеивания характеризуются большим количеством образующейся пыли [5, 29, 37].

Среди всех способов борьбы с пылью на угольных разрезах выделяют следующие мероприятия [8, 39]:

- технологические мероприятия, уменьшающие количество выбросов непосредственно в источнике пылеобразования (усовершенствование процессов);
- гидрообеспыливание непосредственно в источнике пылеобразования;
- гидрообеспыливание и сухое пылеулавливание в воздухе рабочей зоны.
- увеличение количества подаваемого воздуха;
- изоляция рабочего места от пылепоступления;
- использование СИЗ и организационные способы защиты персонала;

К технологическим способам борьбы с пылью можно отнести: использование безотходных технологий или повторная переработка и дообогащение образующихся отходов.

Гидрообеспыливание – наиболее распространенный и доступный способ борьбы с пылью, который заключается в периодическом увлажнении пылящих поверхностей (отвалов вскрышных пород, хвостохранилищ, технологических автодорог) (рисунок 1.6) [30, 92].

Большинство специалистов сходятся во мнении, что не существует универсального, полностью безопасного и эффективного способа пылеподавления для всех предприятий. Выбор средств пылеподавления должен осуществляться в каждом конкретном случае отдельно. На сегодняшний день наиболее распространенный способ – использование стационарных и мобильными

дождевальных (поливальных) установок и гидромониторов для средств гидрообеспыливания.



Рисунок 1.6 – Обеспыливание бортов разреза

Для улавливания мелкой вдыхаемой пыли из воздуха используют устройства для образования водяного тумана (рисунок 1.7) [26, 51].

Средства гидрообеспыливания эффективны в отношении пыли размером от 200 до 600 мкм, но не уменьшают концентрацию опасной для здоровья пыли в воздухе размером 2–10 мкм.



Рисунок 1.7 – Туманообразующая пушка

В некоторых случаях используются способы сухого осаждения пылевого аэрозоля. В горном деле методы сухого осаждения пылевого аэрозоля используются редко ввиду отсутствия экономической целесообразности [93].

Несмотря на разнообразное количество способов и средств пылеподавления «мокрые» способы борьбы с пылью нашли большее применение, поскольку они являются простыми, надежными и выгодными с экономической точки зрения [34].

Наиболее эффективным способом борьбы с пылью на дорожных покрытиях (гравийных, щебеночных, грунтовых, улучшенных и др.) является обработка их обеспыливающими материалами, обеспечивающая уменьшение износа, сохранение первоначальной ровности, снижение загрязнения атмосферы, улучшение условий движения автомобилей и санитарно-гигиенического состояния прилегающих к дорогам населенных пунктов и объектов сельскохозяйственного производства [91, 98].

Для увеличения эффективности гидрообеспыливания используются растворы поверхностно-активных веществ (ПАВ). В настоящее время на угольных разрезах нашли применение смачиватели: ДБ, ОП-7, ДС-РАС, ДС-На и др. Другим способом повышения эффективности улавливания частиц пыли распыленной жидкостью является использование электричества в качестве подзарядки водяных капель [8, 42, 60].

Известен опыт применения различных вяжущих составов и ПАВ для улучшения пылевой обстановки вблизи автодорог разреза, однако, как показывает практика, данный способ борьбы с пылью не нашел распространения из-за дороговизны и усложнения процесса пылеподавления [12].

1.3 Оценка условий труда по пылевому фактору на угольных разрезах

Защита горнорабочих от пылевых выбросов промышленных предприятий является одной из сложнейших задач современной науки об охране труда. По оценкам Международной организации труда, ежегодно промышленная пыль уносит примерно 100 тысяч жизней, а в запыленной атмосфере антракоз развивается в среднем за 10 лет, однако в некоторых случаях болезнь наступает в течение 6 месяцев [1, 95].

На большинстве угольных предприятий концентрации пыли при бурении, погрузке и транспортировании угля превышают ПДК в воздухе рабочей зоны от 2 до 80 раз. Параметры вибрации большинства видов горного оборудования превышают ПДУ до 5 раз, а уровни шума на 25 дБА [20, 21].

При этом лидирующее место среди всей профпатологии занимают заболевания органа слуха (нейросенсорная тугоухость, кохлеарный неврит) и заболевания органов дыхания (пневмокониозы, пылевые бронхиты, хроническая обструктивная болезнь легких). Третье место приходится на болезни, обусловленные воздействием вибрации (вегетосенсорная полиневропатия) (рисунок 1.8) [22, 90].

Установлена связь между количеством твердых частиц в воздухе и уровнем профессиональных заболеваний. Эта закономерность подтверждается тем, что рост на 10% среднесменной концентрации твердых частиц способствует увеличению уровня общей заболеваемости на 17% и заболеваемости органов дыхания на 26% [2, 57].

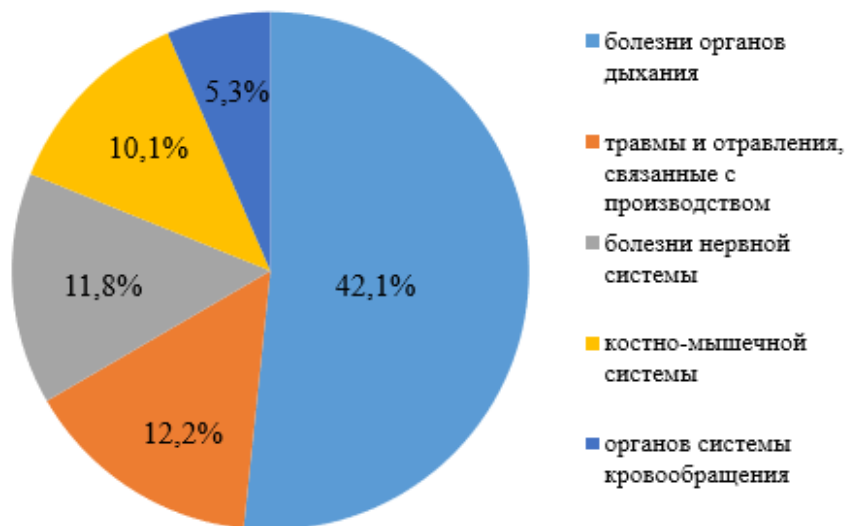


Рисунок 1.8 – Общая структура заболеваемости работников угольных разрезов

Использование различного горнотехнологического оборудования и технологического транспорта обуславливает воздействие на рабочий персонал

аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД), токсичных веществ, производственного шума и вибрации, тяжести и напряженности труда [55, 58].

При этом в группе риска в наибольшей степени находятся работники, занятые на процессах транспортировки горной массы (водители автотранспорта и железнодорожной техники) [36, 50].

Установлено, что разработка месторождений открытым способом оказывает влияние на здоровье населения. Это характеризуется снижением продолжительности жизни, а для детей характерны заболевания органов дыхания и врожденные патологии [86].

1.4 Пути совершенствования методов и способов пылеподавления

Состояние запыленности на открытых горных работах во многом определяется метеорологическими параметрами окружающей среды. Изменение во времени метеорологических и климатических характеристик при непостоянстве горнотехнических условий определяют в конечном итоге естественные циркуляции воздуха в разрезе, формирующие те или иные схемы и степень воздухообмена.

Немаловажную роль при формировании условий повышенной запыленности на разрезе играет микроклимат. При снижении скорости ветра на поверхности и одновременном наличии хотя бы небольших радиационных инверсий происходит развитие внутрикарьерных инверсий и увеличивается их мощность, приводя в конечном итоге к нарушению воздухообмена [96].

Согласно [17, 97] исследованиям, установлено, что снижение запыленности воздуха при конденсации влаги происходит в основном за счет наиболее мелких фракций пыли, трудно поддающихся искусственному подавлению и представляющих наибольшую вредность. В настоящее время наблюдается два основных направления повышения эффективности гидрообеспыливания:

1. Минимизация энергопотребления для обеспечения энергетической составляющей процесса пылеподавления.
2. Передача дополнительной энергии дисперсной системе «пыль – жидкость – воздух».

В первом случае предусмотрена оптимизация основных параметров орошения: дисперсность подаваемой жидкости, расход и давление воды, форма факела орошения, минимальный размер улавливаемых частиц пыли. Для передачи дополнительной энергии используются способы и устройства акустического, электростатического, пневматического, и комбинированного распыливания жидкости [18, 19].

1.5 Выводы по главе 1

1. Рост объемов добычи и переработки минеральных ресурсов приводит к росту отрицательного воздействия горного производства на окружающую среду, население и рабочий персонал. Наиболее интенсивными источниками загрязнения окружающей среды являются технологические этапы добычи угля открытым способом, а основным загрязнителем являются промышленные аэрозоли.

2. Все производственные операции, выполняемые на угольных разрезах, сопровождаются пылеобразованием. Кроме этого, после прекращения деятельности горного предприятия технологические автодороги, пляжные зоны хвостохранилищ и отвалы вскрышных пород продолжают оставаться источниками пылевого воздействия. Пылевые выбросы от технологических источников находятся в размере нескольких десятков тысяч тонн в год, а перенос пыли осуществляется на несколько десятков километров. Дисперсный состав такой пыли представлен размером 10 мкм, преобладают частицы с размером менее 5 мкм.

3. 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 фракционного состава также влияет на количество пыли, взмываемой с поверхности техногенных автодорог.

4. Запыленность воздуха рабочей зоны приводит к ухудшению здоровья горнорабочих. Основной формой заболевания органов дыхания на открытых горных работах является пневмокониоз.

5. Используемые способы пылеподавления эффективны в отношении пыли размером от 200 до 600 мкм и не уменьшают концентрацию опасной для здоровья пыли в воздухе размером 2–10 мкм.

6. Установлено, что разработка месторождений открытым способом оказывает влияние на здоровье населения. Это характеризуется снижением продолжительности жизни, а для детей характерны заболевания органов дыхания и врожденные патологии.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АЭРОТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОДОРОГ НА РАБОЧУЮ ЗОНУ УГОЛЬНЫХ РАЗРЕЗОВ

2.1 Влияние технологии ведения горных работ на процессы пылеобразования

Структура выбросов по этапам технологического процесса существенно различается между предприятиями. Основные технологические этапы добычи угля схематично изображены на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Этапы добычи угля открытым способом

При этом доля буровзрывных работ в структуре выбросов может изменяться от 0,001 % до 52 %, выемочно-погрузочных работ - от 0,4 % до 64 %, транспортировки горной массы - от 5 % до 58 %, складирования угля - от 0,3 % до 20 %, складирования отходов - от 4 % до 69 %. Подобные различия связаны с используемыми технологиями. По данным [99, 101] применение гидравлического разрушения горной массы позволяет снизить выбросы на этапе подготовки горных пород, а использование железнодорожного транспорта – на этапе транспортировки

горной массы и т.д. Однако применение технологий, обеспечивающих низкие выбросы в атмосферу, ограничивается рядом причин: ростом сбросов загрязненных сточных вод (в отношении гидравлического разрушения горной массы), высокими капитальными затратами (в отношении железнодорожного транспорта).

Неорганическая пыль является основным загрязняющим веществом на 4 из 6 этапах технологического процесса. Она отсутствует в выбросах лишь на этапе водоотлива и водоотвода, где объем эмиссии загрязняющих веществ крайне низок [37].

К примеру, на разрезе «Бородинский», расположенном в Красноярском крае, применяется способ циклично-поточной технологии на основе железнодорожного транспорта.

Эксплуатация горной массы осуществляется на разрезе экскаваторами типа мехлопата ЭКГ-15, ЭКГ-12,5, ЭКГ-10. Для транспортировки вскрыши применяются вагоны-самосвалы 2ВС-105 [89].

Вскрытие поля разреза производится двумя фланговыми выездными траншеями, каждая из которых служит для вывоза угля. На основном поле разреза вскрыша над пластом Бородинский-1 обрабатывается по транспортной системе разработки, междупласть Бородинский-1 – и Бородинский-2 по бестранспортной системе разработки.

На добычных работах применяются роторные экскаваторы ЭРП-2500, ЭРП-1600 и ЭР-1250, а также мехлопаты ЭКГ-4у с погрузкой в средства железнодорожного транспорта.

Разработка вскрыши над пластом Бородинский-2 осуществляется драглайном ЭШ-10/70 по бестранспортной системе. Выемка пласта Бородинский-2 осуществляется роторным экскаватором ЭР-1250 и мехлопатой ЭКГ-4у [69].

Безусловно, использование различных способов добычи и транспортировки горной массы вносит различный вклад в общую массу выбросов пыли. Наличие циклично-поточной технологии на разрезе предусматривает транспортирование полезного ископаемого или вскрыши автомобильным транспортом и далее

системой конвейеров. Постоянное движение по технологическим автодорогам переходного и низшего типа является источником пылевых выбросов, что значительно ухудшает условия труда на угольном разрезе. И зачастую дальнейшая транспортировка горных пород системой конвейеров характеризуется линейным источником пыли, что также вносит вклад в долю выбросов на угольном разрезе.

Использование железнодорожного транспорта наиболее безопасно с точки зрения выбросов пыли, поскольку предусматривает перемещение подвижного состава по железнодорожным путям. При этом такой вид транспортирования характеризуется высоким уровнем трудоемкости и высокой аварийностью, поскольку железнодорожные пути прокладываются в недоступных и неподготовленных местах [79, 96].

2.2 Химический и дисперсный состав взвешенной дорожной пыли

По составу промышленные аэрозоли при добыче открытым способом могут быть как породными, так и угольными. Как правило, рабочий персонал подвергаются воздействию смешанной углепородной пыли, разнообразной по минералогическому составу [85].

Для пылевых аэрозолей, как для любых дисперсных систем, характерно броуновское движение. Направление движения отдельных частиц подвергается непрерывному и беспорядочному изменению. Характер движения пылевых частиц в воздушной среде определяется мерой их инерции – массой. Для характеристики пылевых выбросов принята величина дисперсности, которая одновременно характеризует меру инерции частицы и величину межфазной поверхности, приходящуюся на единицу объема фазы. С повышением дисперсности пылевого аэрозоля, его удельная поверхность возрастает. Дисперсность пылевого аэрозоля оказывает решающее влияние на физико – химическую активность, механические и электрохимические свойства пылевых частиц. Кроме того, профессиональная опасность пыли определяется именно ее дисперсным составом. Принято считать, что наиболее опасными являются частицы пыли размером менее 10 мкм [80, 84].

На меру инерции пылевых частиц влияют истинная плотность материала и форма частиц. Истинная плотность частиц пыли зависит от структуры материала и обусловлена, в основном, химическим составом пыли.

Основными факторами, определяющими опасность пылевых выбросов для здоровья рабочего персонала, являются химический и дисперсный состав пыли. Свойства промышленных аэрозолей зависят от тех веществ, из которых она образуется. Степень опасности углеродной пыли также определяется количеством диоксида кремния (SiO_2), который является основным компонентом при формировании заболеваемости органов дыхания работников угольных разрезов [73].

Кроме этого, мелкие пылевые частицы адсорбируют на своей поверхности из воздуха молекулы газа или воды. Адсорбция – способность присоединять компоненты газовой среды на своей поверхности. Явление адсорбции имеет стабильный и длительный характер. Зачастую поглощаемые газы повышают силикозоопасность пылевых частиц [6, 9, 71].

Для установления химического состава веществ используются различные методы. В рамках диссертационной работы исследование химического состава дорожной пыли производилось методом рентгеновской спектроскопии. Принципиальная схема лабораторной установки приведена на рисунке 2.2 [35].

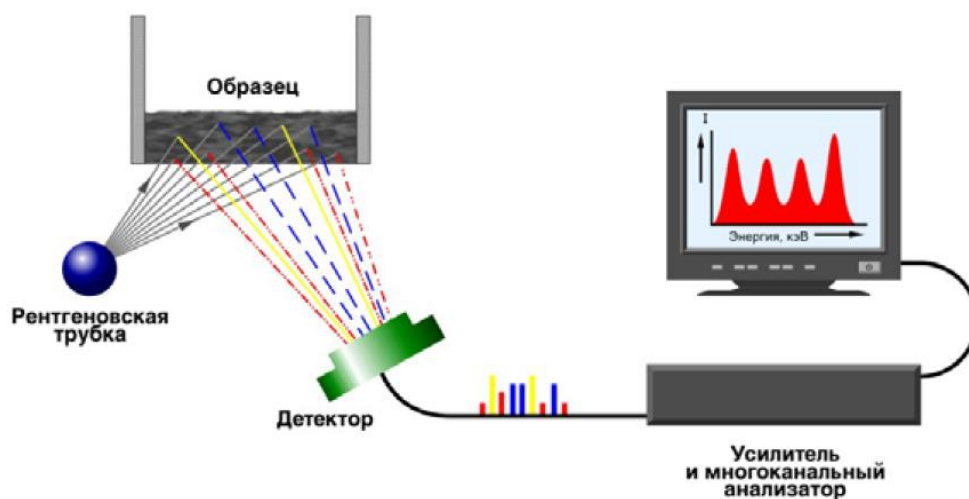


Рисунок 2.2 – Схема энергодисперсионного спектрометра

Рентгеноспектральный флуоресцентный анализ (РСФА), относящийся к числу наиболее динамично развивающихся методов элементного анализа вещества, в настоящее время широко используется в цветной и черной металлургии, сварочном производстве, цементной промышленности, геологии, агрохимии, охране окружающей среды и других важных прикладных областях физики и химии. Применение метода РСФА имеет большое значение в микро- и наноэлектронике для определения элементного состава тонких пленок. Метод РСФА также применяется для элементного анализа сплавов, минералов, полимеров, керамики, стекла, защитных покрытий и др. Являясь неразрушающим методом, рентгеновская спектроскопия незаменима при исследовании уникальных образцов живописи, археологии, драгоценных камней и металлов [63].

Возможности РСФА, обусловленные современным физико-техническим и методическим уровнем развития, характеризуются следующим образом:

- анализ возможен для всех элементов периодической системы химических элементов;
- возможность определения концентрации одновременно большого количества химических элементов;
- высокий диапазон определяемых концентраций;
- точность анализа составляет 0,1%;
- пределы обнаружения элементов достигают 0,001-0,0001%;
- глубина зондирования составляет обычно от нескольких единиц до сотен микрон;
- время проведения анализа обычно составляет 0,5-5 мин.

В количественном РФСА исследуемые (анализируемые) образцы часто представляют собой порошковые материалы, состоящие из частиц различной крупности. Как правило, при обычных методах измельчения размеры частиц составляют величину от нескольких микрон до нескольких десятков микрон [49].

Для образцов дорожной пыли был проведен элементный анализ методом рентгено-флуоресцентной спектроскопии на базе Центра коллективного

пользования Горного университета. Образец подготовки пробы для проведения эксперимента представлен на рисунке 2.3.

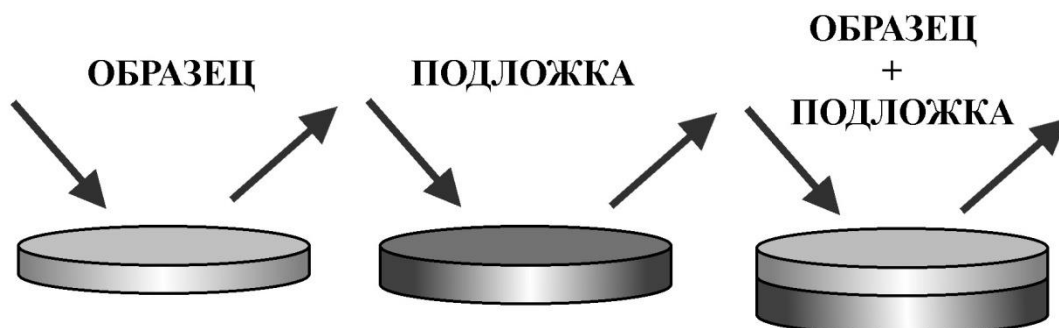


Рисунок 2.3 – Подготовка пробы к анализу

Исходным материалом послужили образцы дорожной пыли постоянных технологических автодорог с различным покрытием. В качестве образцов пыли взяты пробы пыли автодорог с щебеночным покрытием и дорожной одеждой из горелых пород. В результате химического анализа было установлено, что все образцы дорожной пыли имеют в своем составе диоксид кремния в количестве более 60% (таблица 2.1, рисунок 2.4).

Кроме этого, была проведена подробная аэротехногенная съемка вдоль дороги, ведущей на отвал, где с периодичностью 1-2 машины в минуту проезжают крупногабаритные автомобили, везущие вскрышу на отвал. Измерения проводились с помощью счетчика пылевых частиц *CEM DT-9880* (рисунок 2.5) в различных точках рабочей зоны внутри разреза. Натурные эксперименты были произведены по измерению количества тонкодисперсных частиц размером 0,3; 0,5; 1; 2,5 и 10 мкм (таблица 2.2, рисунок 2.6).

Таблица 2.1 – Количественный анализ образцов

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

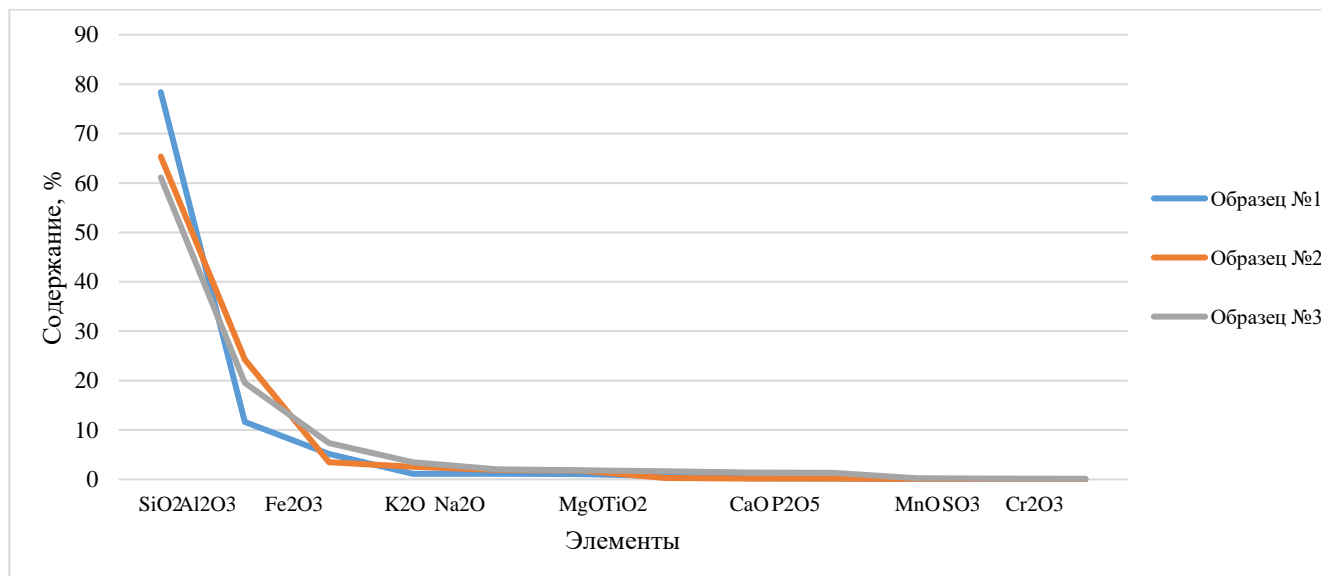


Рисунок 2.4 – Графическая интерпретация химического состава образцов



Рисунок 2.5 – Счетчик пылевых частиц CEM DT-9880

Таблица 2.2 – Измерения частиц различной дисперсности на дороге, ведущей на отвал

Размер частиц, мкм	Расположение точки замера, м									
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0,3	19025	21213	25218	27841	47062	31341	64205	53524	44468	35965
0,5	6152	7385	10747	13089	27042	15990	42497	38138	29931	20653
1	789	1242	2153	2692	5896	3572	9966	8251	7116	4115
2,5	110	242	386	572	1405	834	2566	1774	1763	891
5	7	13	36	60	151	58	242	217	169	59
10	8	79	124	168	324	198	601	440	270	256

По результатам натурных экспериментов был построен график распределения частиц респираторной фракции во время движения технологического транспорта вдоль автодороги, ведущей на отвал (рисунок 2.6).

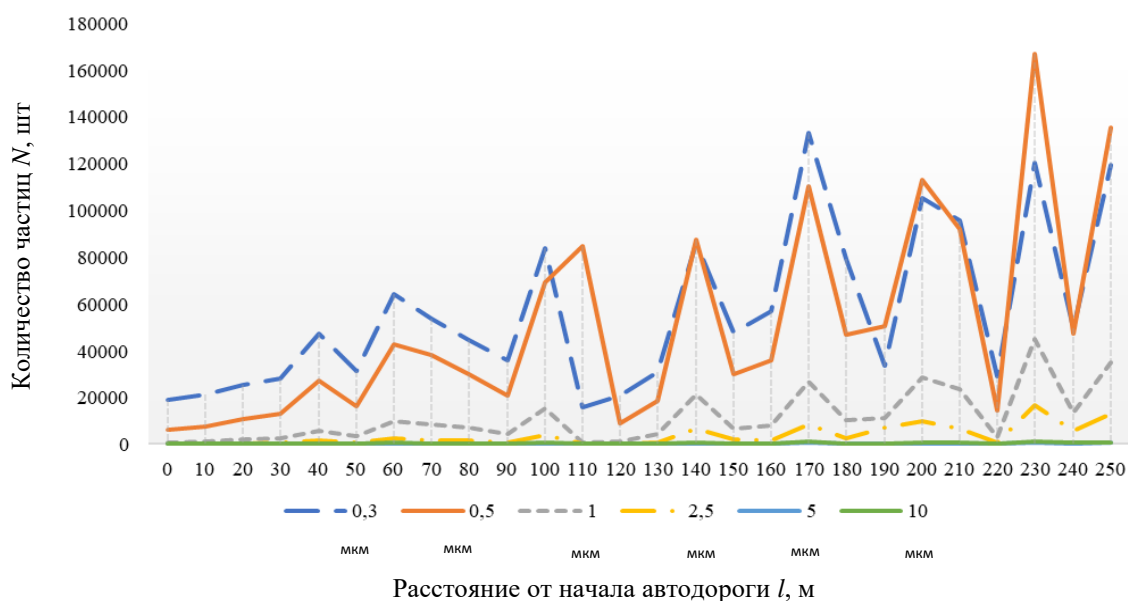


Рисунок 2.6 – Распределение частиц респираторной фракции вдоль технологической автодороги

Расчет концентрации массового выброса респираторных частиц был осуществлен в условиях Аршановского разреза. Зная количество витающих частиц и их средний аэродинамический диаметр, можно рассчитать концентрацию каждой фракции пыли в $\text{мкг}/\text{м}^3$.

Чтобы получить массовую концентрацию аэрозоля C в $\text{мг}/\text{м}^3$, необходимо рассчитать средние массы частиц каждой фракции пыли m_i (формула 2.1) и

умножить их на счетную концентрацию частиц для каждой фракции N_i . Тогда суммы произведений m_i и N_i для трех измерений в каждой фракции дают массовую концентрацию частиц аэрозоля (формула 2.2).

Для расчета массы частиц аэрозоля диаметром d , имеющей истинную плотность ρ , была использована следующая формула:

$$m_i = \pi d^3 \rho_i / 6, \quad (2.1)$$

где m – масса частицы, кг; d – аэродинамический диаметр частицы, м; ρ – истинная плотность частицы, кг/м³.

$$C = N_1 m_1 + N_2 m_2 + N_3 m_3, \quad (2.2)$$

где C – массовая концентрация аэрозоля, мг/м³; m_i – средние массы частиц каждой фракции пыли, кг; N_i – счетная концентрация частиц для каждой фракции, шт.

На сегодняшний день на территории России не осуществляется нормирование выбросов пыли респираторной фракции в воздухе рабочей зоне. К примеру, в он США осуществляется по среднегодовому и среднесуточному значению в зависимости от дисперсного состава образующейся пыли (таблица 2.5) [74]. Сравнивая полученные результаты, можно сделать вывод, что по среднегодовому периоду осреднения массовый выброс частиц превышает нормативные значения.

Таблица 2.5 – Нормирование выбросов пыли респираторной фракции

Загрязняющее вещество	Нормативное/целевое содержание	Период осреднения
Твердые частицы размером менее 10 мкм (PM_{10})	50 мкг/м ³	Суточный максимум
	30 мкг/м ³	Среднегодовой
	50 мкг/м ³	Суточный максимум, в год допустимо пять превышений
Твердые частицы размером менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$)	8 мкг/м ³	Среднегодовой
	25 мкг/м ³	

Используя формулы 2.1-2.2 были рассчитаны основные параметры аэротехногенного воздействия респираторной фракции пыли на рабочую зону угольного разреза. Результаты расчета массы витающих частиц и дальнейший перерасчет в концентрацию представлены в таблицах 2.4-2.5.

Таблица 2.4 – Массовый выброс респиральной пыли по фракциям

Место замера	$N_{0,3}$, шт	m , МКГ	$N_{0,5}$, шт	m , МКГ	N_1 , шт	m ,МКГ	$N_{2,5}$, шт	m ,МКГ	N_5 , шт	m ,МКГ	N_{10} , шт	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

Примечание: N – количество частиц различного диаметра, шт

Таблица 2.5 – Концентрация респираторной дорожной пыли по фракциям

Место замера	$N_{0,3}$	$C, \text{мг/м}^3$	$N_{0,5}$	$C, \text{мг/м}^3$	N_1	$C, \text{мг/м}^3$	$N_{2,5}$	$C, \text{мг/м}^3$	N_5	$C, \text{мг/м}^3$	N_{10}	$C, \text{мг/м}^3$
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

Примечание: N – количество частиц различного диаметра, шт

2.3 Оценка влияния пылевого аэрозоля от автодорог на формирование пылевой нагрузки на работников разреза

В рамках диссертационной работы были проведены исследования по оценке влияния дорожной пыли на формирование пылевой нагрузки. Эксперименты проводились на Аршановском угольном разрезе, где осуществляется транспортная схема вскрытия запасов со складированием вскрышной породы во внешний отвал и последующей транспортировкой добытого угля на технологический комплекс. Для осуществления перевозок, обеспечивающих весь технологический процесс отработки участка разреза, проектом предусмотрено строительство сети внутренних автодорог. Все внутренние автодороги, задействованные в технологическом процессе отработки участка, подразделяются на внутрикарьерные автомобильные дороги и автодороги на поверхности [8].

Как правило, технологические дороги на разрезах прокладываются из щебня мощностью от 0,2 до 0,4 м. Исключением являются места движения большегрузных автомобилей, для них проезды выполняются с покрытием из фракционного щебня, уложенного по способу заклинки на основании из щебеночной смеси общей мощностью 0,5 м [77].

На примере разреза, расположенного в республике Хакасия, можно сказать, что промплощадка погрузочного пункта угля с дробильно-сортировочной установкой выполнена в виде насыпи из вскрышных пород, с полимерным слоем перед финишным покрытием на территории склада угля [70].

Транспортировка вскрышных пород осуществляется по системе полустационарных съездов до поверхности и далее к внешнему отвалу. Уголь транспортируется также по системе полустационарных съездов до поверхности и далее на технологический комплекс, откуда путем отгрузки в автосамосвалы доходит до потребителя.

Конструирование дорожной одежды на угольном разрезе выполнено согласно методики ОДН-218.046-01.

Все автодороги запроектированы с основанием из щебеночной смеси С5, толщиной 40 см по ГОСТ 25607-2009; подстилающий и выравнивающий слой основания – из песка крупного. Для автодорог I-категории проезжая часть составляет 33 м, ширина обочины две полосы по 2,5 м, ширина земляного полотна 38 м, две полосы движения. Подстилающий слой с содержанием пылевато-глинистой фракции 5 %, толщиной 30 см по ГОСТ-8736-93. Для автодорог IV-категории проезжая часть равна 4,5 м, ширина обочины две полосы по 2,25 м, ширина земляного полотна 9 м, одна полоса движения [77].

По СНиП Н-Д.5-72 автодороги бывают капитальными и облегченными.

Как правило, к капитальным относят дороги из цементнобетонных и асфальтобетонных покрытий. Кроме этого, к этому же типу принадлежат мостовые покрытия из брусчатки и мозаики с каменным или бетонным основанием.

Дорожные покрытия из асфальтобетонных смесей, из смеси дегтя и бетона относят к облегченному типу. Кроме этого, использование материалов из щебня, гравия и песка, обработанных битумно-цементной эмульсией, в качестве покрытий также относятся к облегченному типу автодорог (рисунок 2.7).

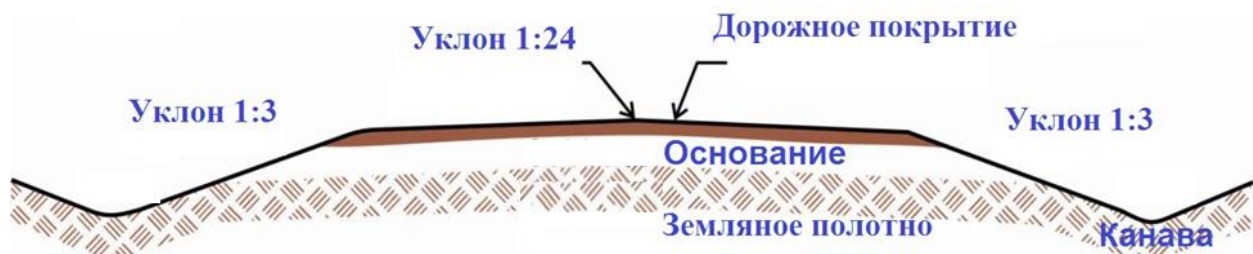


Рисунок 2.7 – Устройство автодороги

К переходному типу относят автодороги с покрытием из щебня, гравия и других слабопрочных материалов, которые обработаны вяжущими компонентами.

К низшему типу относят грунтовые покрытия, которые могут быть укреплены различными материалами.

На Аршановском разрезе предусмотрены автодороги низшего и переходного типа. Для безопасной эксплуатации автодорог предусмотрены следующие правила [77]. Для предотвращения появления на асфальтобетонных слоях, устраиваемых на цементобетонном покрытии, отраженных трещин над швами и трещинами

укладывают прослойки из нетканых геотекстильных материалов, различных геосеток.

Движение транспорта открывается после укатки щебня. Первые 10 дней ограничивается скорость движения до 40 км/ч с регулированием движения по ширине проезжей части. В первые три дня ежедневно проводится удаление неприжившегося щебня (капроновыми щетками).

На дорогах с переходными и низшими типами дорожных одежд с целью улучшения ровности покрытия (после дождей в весенний и осенний периоды) осуществляют профилирование покрытия, устраняют отдельные выбоины, колеи и просадки с добавлением щебня, гравия в необходимом количестве.

Интенсификация отработки месторождений полезных ископаемых открытым способом и применение скоростных автосамосвалов большой грузоподъемности для транспортировки руды и породы сопровождается значительным увеличением интенсивности пылевыведения на разрезах. В общем балансе пылевыведения на открытых разработках карьерные автодороги составляют более 60 %, что связано с большой протяженностью и интенсивностью движения. Например, в Сибайском, Учалинском и Зыряновском карьерах протяженность дорог колеблется от 12 до 30 км при интенсивности движения по ним до 150 машин в час. Запыленность воздуха на автодорогах без применения средств пылевыведения может достигнуть значительных величин. Так, на Сибайском, Сорском и Лебединском карьерах она составила соответственно 60-80, 40-50 и 83 мг/м³. С увеличением глубины разработки пылеобразующая способность автодорог резко возрастает. Пылеобразование на карьерных автодорогах происходит в результате износа покрытия, турбулизации воздуха за движущимся транспортом, высыпания из кузова мелочи породы и руды, переноса пыли колесами транспорта с других участков разреза. При этом пыль вредно воздействует не только на организм людей, работающих на разрезах, но и вызывает износ трущихся деталей машины, что снижает производительность. Таким образом, карьерные автодороги являются одним из основных источников пылевыведения на открытых разработках полезных

ископаемых, а изыскание эффективных способов обеспыливания дорог является актуальной задачей горной науки, связанной с улучшением условий труда [36, 82].

На примере разрезов «Бородинский», расположенном в Красноярском крае и «Аршановский», расположенном в республике Хакасия, был проведен анализ запыленности рабочих мест по ГН 2.2.5.686-98 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [14, 15, 16, 25]. Было установлено превышение ПДК на рабочих местах в 4 раза. При этом технологические автодороги являются источником пылевых выбросов с содержанием $SiO_2 > 60\%$.

Метеорологические данные района расположения Аршановского разреза представлены на рисунках 2.6-2.7.

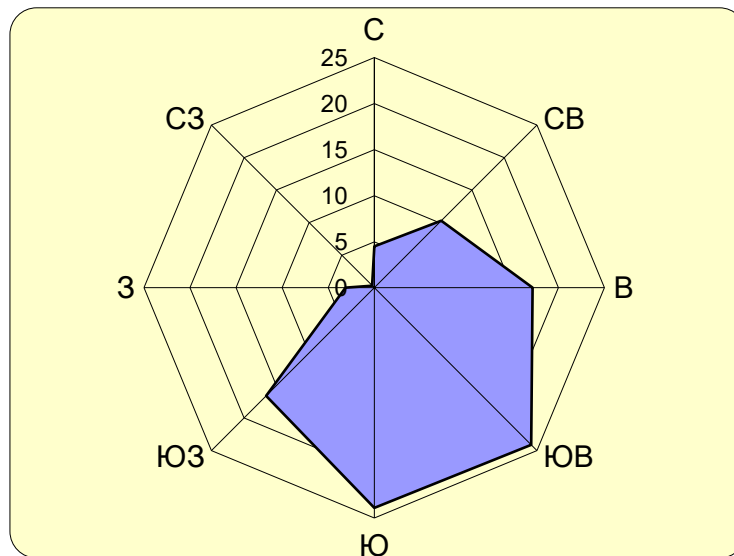


Рисунок 2.8 – Роза ветров по повторяемости направления скорости ветра

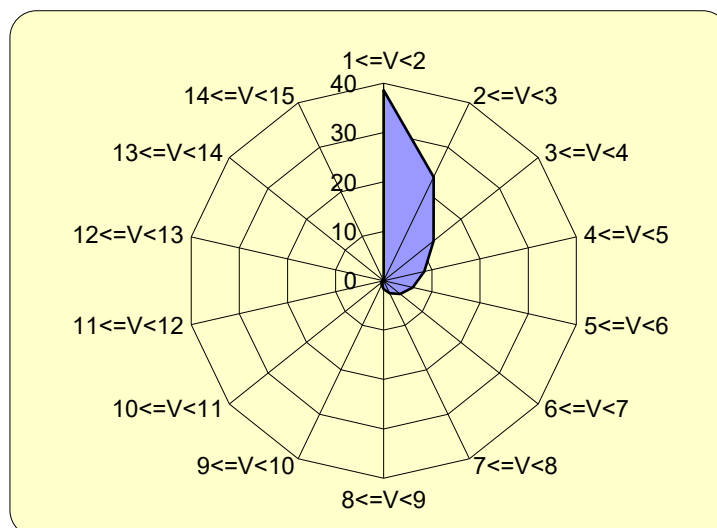


Рисунок 2.9 – Роза ветров по повторяемости скорости ветра

В результате полученных данных по концентрациям неорганической пыли на рабочих местах построена карта рассеивания пылевого аэрозоля вблизи участка технологической автодороги, а также получена зависимость концентрации пыли от расстояния до дороги и метеорологических параметров (рисунок 2.10 – 2.11).

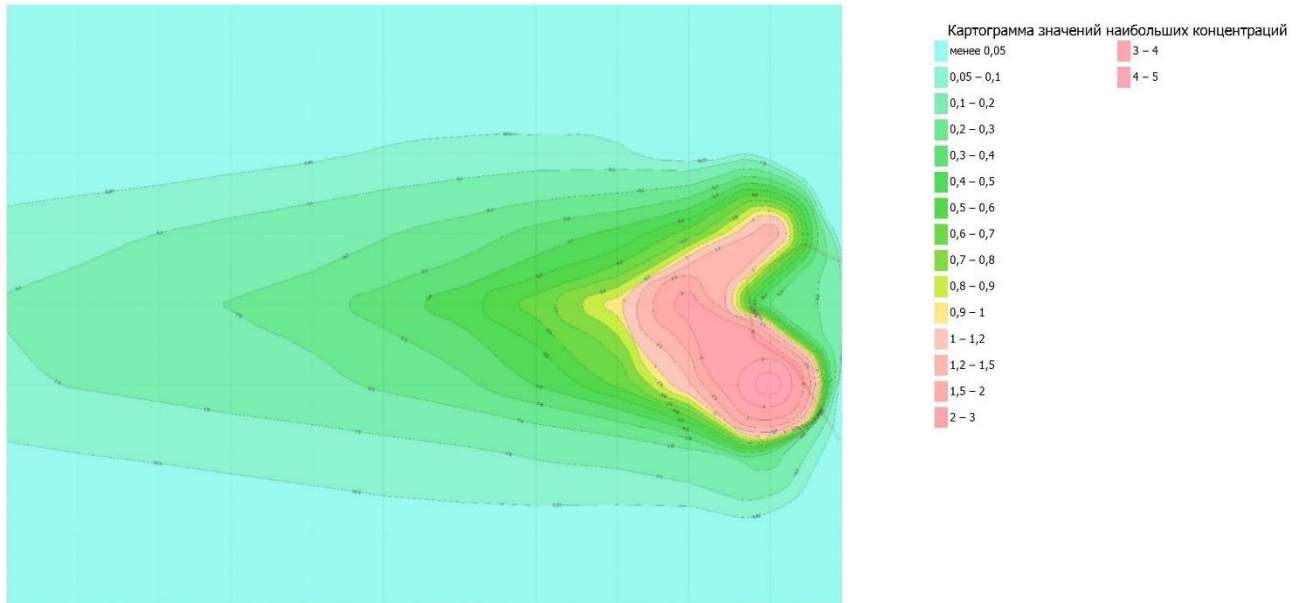


Рисунок 2.10 – Распространение пылевого аэрозоля от постоянной автодороги

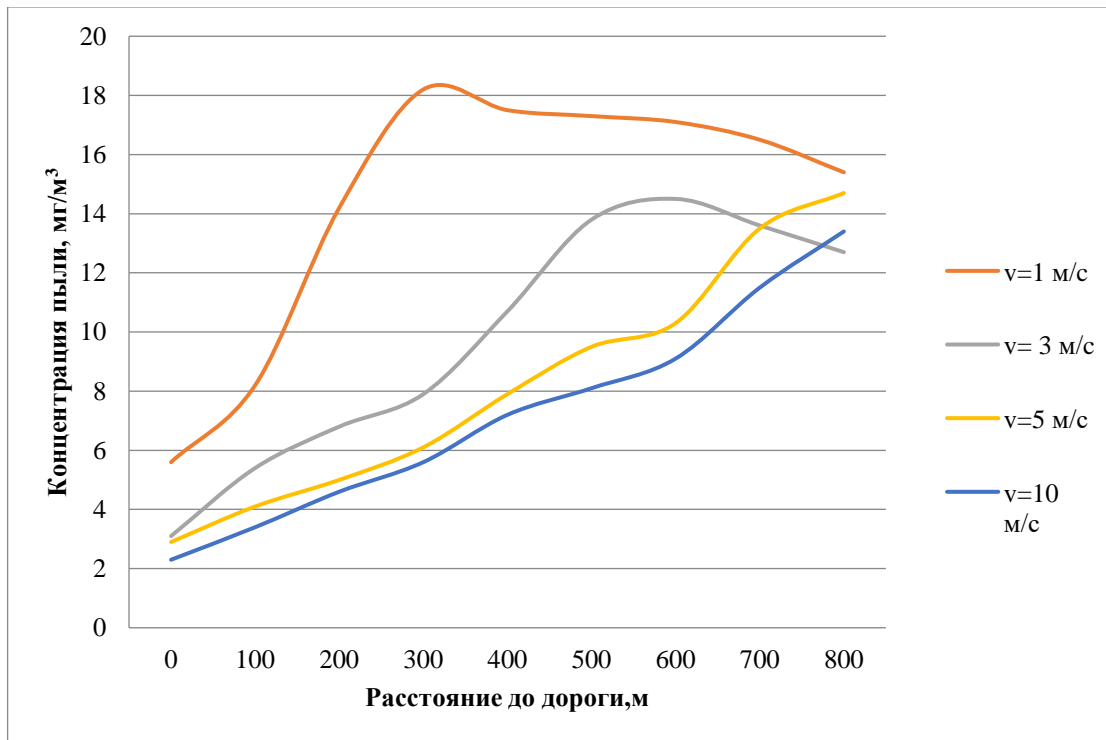


Рисунок 2.11 – Зависимость концентрации пыли в рабочем пространстве разреза от расстояния до автодороги и скорости ветра

Как видно из графика на рисунке 2.11 скорость ветра напрямую влияет на уровень запыленности. Поэтому для расчета концентрации пыли по методике [11, 33] с учетом метеорологических параметров используем следующее выражение:

$$C_{ср.з.н.} = \sum_i \sum_j C_{н.к.} \alpha_i \beta_j, \quad (2.1)$$

где $C_{н.к.}$ – исходная концентрация на рабочем месте, мг/м³; α_i , β_j – повторяемость скорости ветра и его направлений (доли ед.).

При этом пылевая нагрузка будет рассчитываться следующим образом:

$$ПН = C_{ср.з.н.} \cdot N \cdot V_{л} \cdot T, \quad (2.2)$$

где $C_{ср.з.н.}$ – концентрации пыли, учитывающая распределение ветрового потока на разрезе, мг/м³; N – количество смен за календарный год, отработанных в календарном году в условиях воздействия АПФД; T – количество лет, отработанных в условиях воздействия АПФД; $V_{л}$ – объем легочной вентиляции в зависимости от категории работ, м³. Фоновая концентрация пыли во многом определяет конечное влияние пылевой нагрузки на организм рабочего персонала, поскольку на разрезах, как правило, имеется несколько источников пылеобразования. В конечном итоге сумма от всех пылевых выбросов формирует окончательную пылевую нагрузку.

В условиях Аршановского разреза на рабочих местах, расположенных недалеко от постоянной автодороги, существует несколько источников, влияющих на формирование пылевой нагрузки. Это объекты циклично-поточной технологии перегрузки угля и внутренние отвалы.

Для учета воздействия респирабельной фракции пыли на рабочий персонал в пылевой нагрузке предлагается ввести коэффициент k , учитывающий среднее процентное содержание тонкодисперсной фракции в общей массе (PM_{2,5} – PM₁₀) (формула 2.4).

$$ПН_{сум} = C_{ср.з.н.} \cdot N \cdot V_{л} \cdot T \cdot k, \quad (2.4)$$

где $C_{ср.з.н.}$ – концентрации пыли, учитывающая распределение ветрового потока на

разрезах мг/м^3 ; N – количество смен за календарный год, отработанных в календарном году в условиях воздействия АПФД; T – количество лет, отработанных в условиях воздействия АПФД; V_d – объем легочной вентиляции в зависимости от категории работ, м^3 ; k – коэффициент, характеризующий количество респирабельной фракции в общей массе, полученной в ходе лабораторных экспериментов.

При этом контрольная пылевая нагрузка будет рассчитываться из выражения 2.5.

$$КПН = ПДК_{cc} \cdot N \cdot T \cdot Q, \quad (2.5)$$

где $ПДК_{cc}$ – предельно допустимая среднесменная концентрация пыли, мг/м^3 , N – количество смен за календарный год, отработанных в календарном году в условиях воздействия АПФД; T – количество лет, отработанных в условиях воздействия АПФД; V_d – объем легочной вентиляции в зависимости от категории работ, м^3 .

Обычно контрольная пылевая нагрузка рассчитывается за рабочий стаж за 25 лет (формула 2.6).

$$КПН_{25} = ПДК_{cc} \cdot N \cdot T \cdot Q, \quad (2.6)$$

Отсюда допустимый стаж работы рассчитывается из формулы 2.7.

$$T = КПН_{25} / K \cdot N \cdot Q, \quad (2.7)$$

В результате расчета было установлено, что допустимый стаж работы для работника погрузочного оборудования в районе расположения угольного склада Аршановского разреза с учетом химического, дисперсного состава дорожной пыли и климатическими параметрами будет составлять 9 лет, вместо 17, рассчитанных по методике, не учитывающей детальное содержание SiO_2 (рисунок 2.12).

Для таких работников как участковый геолог, главный геолог, участковый маркшейдер, главный маркшейдер (маркшейдерско-геологический отдел), начальник участка горных работ, дорожный мастер и др.), занятых в зоне воздействия от автодорог класс условий труда по результатам СОУТ по пылевому фактору оценивается как вредный.



Рисунок 2.12 – Сравнение методик расчета контрольной пылевой нагрузки в условиях угольного разреза

При условии снижения пылевыделения с технологических автодорог, как основного источника пылеобразования на разрезе, пылевая нагрузка на органы дыхания работников данных профессий снизится на 30-40%.

Таким образом, при расчете пылевой нагрузки и допустимого стажа работы горнорабочих угольных разрезов, необходимо учитывать характеристики ветрового потока на разрезе, фракционный и химический состав образующейся дорожной пыли.

2.4 Многофакторный корреляционно-регрессионный анализ факторов, влияющих на запыленность

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 [43].

В ней приведены основные зависимости, позволяющие рассчитывать интенсивность пылеобразования после прохождения автотранспорта по автодорогам и концентрацию. В основе этой методики лежит учет параметров автотранспортного потока (длины, ширины, высоты, массы автомобиля, ширины протектора шин, диаметра колес и др.), а также толщины слоя пыли (формулы 2.4-2.5).

$$G = \frac{1,13 \cdot k_m \cdot k_N \cdot \psi \cdot n_k \cdot u \cdot \rho \cdot h \cdot b^{0,75} \cdot Q^{0,5} \cdot D^{0,25}}{L_p \cdot P^{0,5}}, \text{ кг/с}, \quad (2.4)$$

где G – интенсивность пылеобразования, кг/с; k_m – коэффициент, характеризующий долю передних колес автосамосвала в загрязнении рециркуляционной зоны; для большегрузных машин $k_m=1,1-1,3$; ψ – коэффициент, характеризующий пылеобразующую способность материала покрытий автодорог; $k_N=j e^{-i\rho h}$ – экспериментальный коэффициент, характеризующий адгезию пыли к протекторной резине; j, i – эмпирические коэффициенты, характеризующие соответственно аутогезию и степень измельчения пылевых частиц; значения j и i для угольной пыли составляют соответственно 0,022 и $8 \cdot 10^{-2}$, для угольно-породной – 0,011 и $5,86 \cdot 10^{-2}$, для породной 0,005 и $1,7 \cdot 10^{-2}$; h – толщина слоя пыли на дорожном покрытии дороги, м; b – ширина колес автосамосвала, м; n_k – число колес, непосредственно выбрасывающих пыль в рециркуляционную зону, шт.; P – давление воздуха в шинах, Па; u – скорость движения автосамосвала, м/с; ρ – плотность пыли, кг/м³; Q – нагрузка на шину, Н; D – диаметр колес автосамосвала, м; $L_p=L_a \lambda_L u^{0,77}$ – длина рециркуляционной зоны за автосамосвалом.

Концентрация пыли в воздухе за движущимся автосамосвалом C находится из выражения:

$$C = \frac{1,7 \cdot 10^6 k_m \cdot j \cdot \rho \cdot h \cdot e^{-a_n(\varphi - \varphi_e) - i\rho h} n_k \cdot b^{0,75} \cdot Q^{0,5}}{\lambda_L \cdot K_b \cdot B_a \cdot H_a \cdot L_a \cdot u^{0,77} \cdot \rho^{0,5}}, \text{ мг/м}^3, \quad (2.5)$$

где λ_L – экспериментальный коэффициент; $\lambda_L = 0,32 \frac{c^{0,77}}{m^{0,77}}$; k_b – коэффициент, учитывающий выброс пыли в сторону от колес, $k_b = 1,3-1,6$; B_a, H_a, L_a – соответственно ширина, высота, длина автосамосвала, м.

Параметры большегрузных автосамосвалов, применяемых на разрезах и необходимые параметры для расчета величины G и C представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Параметры для расчета пылевых выбросов

Марка а/с	Грузоподъемность, т	U_{\max} , км/ч	b , м	D , м	Q , кН	P , МПа	V_a , м	H_a , м	L_a , м
БелАЗ-540А	27	55	0,55	1,6	26,49	0,49	3,48	3,58	7,25
					79,48				
БелАЗ-548	40	55	0,61	1,9	34,89	0,49	3,8	3,79	8,17
					109,2				
БелАЗ-549	75	35	0,68	2,6	29,5	0,52	4,9	4,4	9,7
					208,5				
БелАЗ-7565	110	55	0,82	2,82	-	0,49	5,3	4,5	10,35
					274,7				
БелАЗ-7420-9590	120	35	0,68	2,63	-	0,52	5,1	4,7	10,5
					210,7				
БелАЗ-7521	180	52,5	1,1	3,52	-	0,54	7,4	5,75	13,2
					490,5				

Примечание: В числителе представлены показатели для порожнего автосамосвала, в знаменателе для груженого.

Указанная выше методика для вычисления концентрации пыли, предложенная А.Н. Купиным, не позволяет учитывать механизмы распространения пылевого облака в зависимости от расстояния источника пылеобразования и времени после проведения пылеподавляющих мероприятий. С целью оценки данных факторов была проведена серия экспериментов на Арашановском разрезе. Измерения проводились на автодорогах с различным покрытием. В качестве источника пылеобразования, формируемого при механическом разрушении щебня и горельника, стали 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. Помимо этого, учитывались масса проходимого автомобиля, его скорость и время, прошедшее после проведения

пылеподавляющих мероприятий (орошения водой специальными поливальными машинами) [100].

В дальнейшем был проведен корреляционно-регрессионный анализ зависимости концентрации пыли от различных факторов [102]. Диапазоны данных для расчета приведены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Диапазон данных для детального 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, °С	Влажность воздуха, %
Угольная	45,2÷22,5	5÷400	0,8÷8,4	60-25	5÷90	19,3÷24,6	50,4÷80
Пыль щебня	52,3÷19,6	1÷450	0,4÷6,6	60-25	8÷100	19,2÷25,1	53,6÷74,1
Пыль горельника	43,7÷35,2	1÷300	0,6÷5,2	60-25	9÷95	18÷25	56,3÷70,1

Для начала было построено уравнение линейной регрессии для концентрации пыли горельника (C) от расстояния (x), массы автомобиля (m), времени после орошения (t). Проверим качество построенного уравнения регрессии с надежностью 0,95. Погодные условия во всех наблюдениях примерно одинаковые. Использовано 45 данных. Результаты этого анализа, выраженные в абсолютных величинах, приведены в таблицах 2.8 – 2.14.

Таблица 2.8 – Корреляционная зависимость между факторами

	c	x	m	t
c	1			
x	-0,8489	1		
m	-0,0365	-0,022	1	
t	-0,1697	0,1384	-0,189	1

Согласно шкале Чеддока, между концентрацией и расстоянием существует сильная связь (коэффициент корреляции $-0,8489$). Между концентрацией и временем после орошения ($-0,1697$) связь слабая, между концентрацией и массой автомобиля ($-0,0365$) очень слабая. Поэтому исключаем фактор влияния массы автомобиля на концентрацию пыли горельника. Между оставшимися рассматриваемыми факторами расстояния от источника пылеобразования и временем после орошения связи нет (коэффициент парной корреляции $0,1384$, мультиколлинеарности нет). В результате получаем новую корреляционную зависимость (таблица 2.9).

Таблица 2.9 – Корреляционная зависимость между факторами

	<i>c</i>	<i>x</i>	<i>t</i>
<i>c</i>	1		
<i>x</i>	$-0,848881$	1	
<i>t</i>	$-0,169744$	$0,1384$	1

Таблица 2.10 – Двухфакторная взаимосвязь концентрации пыли горельника от времени после орошения и расстояния

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
<i>c</i>	41,6473	0,9399	44,3103	6,825E-37	39,7504	43,5441
<i>x</i>	$-0,05489$	0,0053	$-10,2693$	5,044E-13	$-0,0657$	$-0,0441$
<i>t</i>	$-0,0081$	0,0124	$-0,6500$	0,5192012	$-0,0331$	0,0170

Таблица 2.11 – Регрессионная статистика для определения концентрации пыли горельника от времени после орошения и расстояния

Множественный R	0,850519024
R-квадрат	0,723382611
Нормированный R-квадрат	0,710210354
Стандартная ошибка	3,344680006
Наблюдения	45

Таблица 2.12 – Анализ дисперсии концентрации пыли горельника от времени после орошения и расстояния

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	Значимость <i>F</i>
Регрессия	2	1228,7	614	54,9171362	1,90313E-12
Остаток	42	469,85	11,2		
Итого	44	1698,6			

Примечание: *df* – число степеней свободы; *SS* – сумма квадратов регрессии; *MS* – среднее суммы квадратов регрессии; *F* – значение критерия Фишера; Значимость *F* – вычисленное по выборке значение плотности вероятности распределения Фишера.

Анализируя приведенный фактический материал (таблицы 2.8-2.12), можно отметить, что в наибольшей степени на формирование запыленности влияют расстояние от автодороги и время после орошения дорожного покрытия.

Уравнение регрессии будет иметь вид:

$$C_{\Gamma} = 41,6 - 0,05x - 0,008t, \quad (2.6)$$

где C_{Γ} – концентрация пыли горельника, мг/м³; x – расстояние до автодороги, м; t – время, прошедшее после орошения, с. При этом множественный коэффициент корреляции $R=0,85$, коэффициент детерминации $R^2=0,72$.

Уравнение регрессии показывает, что при увеличении расстояния на 1% (при неизменном времени после орошения) уровень пыли уменьшится в среднем на 0,05 единиц, а при увеличении времени после орошения на 1% (при неизменном расстоянии от источника пылеобразования) уровень пыли уменьшится в среднем на 0,008 единиц.

Подобный анализ был проведен для пыли, образующийся при передвижении автотранспорта по постоянной дороге с щебеночным покрытием (таблицы 2.13-2.16).

Таблица 2.13 – Корреляционная зависимость между факторами

	<i>c</i>	<i>x</i>	<i>t</i>
<i>c</i>	1		
<i>x</i>	-0,79558	1	
<i>t</i>	-0,46271	0,35291	1

Между концентрацией и расстоянием существует сильная связь (коэффициент корреляции -0,7956). Между концентрацией и временем после орошения связь слабая (0,46271), но намного выше, чем у пыли горельника. Между оставшимися рассматриваемыми факторами расстояния от источника пылеобразования и временем после орошения связи нет (коэффициент парной корреляции 0,353, мультиколлинеарности нет).

Таблица 2.14 – Регрессионная статистика для определения концентрации пыли щебня от времени после орошения и расстояния

Множественный R	0,81900264
R-квадрат	0,67076532
Нормированный R-квадрат	0,65508748
Стандартная ошибка	2,60740756
Наблюдения	45

Таблица 2.15 – Анализ дисперсии концентрации пыли горельника от времени после орошения и расстояния

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	2	581,74433	290,8722	42,78429	7,37254E-11
Остаток	42	285,54012	6,798574		
Итого	44	867,28444			

Примечание: df – число степеней свободы; SS – сумма квадратов регрессии; MS – среднее суммы квадратов регрессии; F – значение критерия Фишера; Значимость F – вычисленное по выборке значение плотности вероятности распределения Фишера.

Таблица 2.16 – Двухфакторная взаимосвязь концентрации пыли щебня от времени после орошения и расстояния

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
c	39,3361	0,7022	56,0148	4,2534E-41	37,9190	40,7519
x	-0,0343	0,0045	-7,6325	1,83513E-09	-0,0434	-0,0252
t	-0,0255	0,0116	-2,1962	0,033646222	-0,0490	-0,0020

Для пыли щебня уравнение регрессии будет иметь вид:

$$C_{щ} = 39,3 - 0,034x - 0,025t, \quad (2.7)$$

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

Кроме этого, был проведен аналогичный анализ для угольной пыли, образующийся в ходе движения различного вида техники по уступам разреза (таблицы 2.17 – 2.20).

Таблица 2.17 – Корреляционная зависимость между факторами

	c	x	t
c	1		
x	-0,85047	1	
t	-0,39132	0,195322	1

Таблица 2.18 – Регрессионная статистика для определения концентрации угольной пыли от времени после орошения и расстояния

Множественный R	0,8809197
R-квадрат	0,7760196
Нормированный R-квадрат	0,767724
Стандартная ошибка	2,608182
Наблюдения	57

Таблица 2.19 – Дисперсионный анализ концентрации угольной пыли от времени после орошения и расстояния

	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Значимость F</i>
Регрессия	2	1272,7182	636,35909	93,55	2,85542E-18
Остаток	54	367,34113	6,8026135		
Итого	56	1640,0593			

Примечание: *df* – число степеней свободы; *SS* – сумма квадратов регрессии; *MS* – среднее суммы квадратов регрессии; *F* – значение критерия Фишера; *Значимость F* – вычисленное по выборке значение плотности вероятности распределения Фишера.

Таблица 2.20 – Двухфакторная взаимосвязь концентрации угольной пыли от времени после орошения и расстояния

	<i>Коэффициенты</i>	<i>Стандартная ошибка</i>	<i>t-статистика</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Нижние 95%</i>	<i>Верхние 95%</i>
c	39,0840	0,6493	60,1982	3,4713E-51	37,7823	40,3857
x	-0,0357	0,0029	-12,2545	3,1791E-17	-0,0416	-0,0299
t	-0,0362	0,0102	-3,5654	0,0008	-0,0566	-0,0158

Уравнение регрессии для угольной пыли будет иметь вид:

$$C_y = 39,1 - 0,036x - 0,036t, \quad (2.8)$$

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

2.5 Выводы по главе 2

1. В результате проведения полевых экспериментов было установлено превышение уровня концентрации пыли, образованной механическим разрушением щебня и горельника, вблизи постоянных автодорог на угольном разрезе.

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

3. Получены уравнения регрессии для каждого из исследуемых видов пыли, которые в дальнейшем могут быть использованы на стадии проектирования объектов открытой угледобычи для расчета пылеобразования. Это позволит еще на этапе разработки горного предприятия принимать превентивные мероприятия для сокращения пылевых выбросов.

4. 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.

5. Установлено, что в пределах Аршановского угольного разреза господствуют ветры преимущественно южного и юго-восточного направления, средняя скорость которых варьируется от 1 до 3 м/с.

6. Результаты анализов химического состава пыли, образующейся в результате износа покрытия дорожного полотна, показывают, что содержание SiO_2 в образцах дорожной пыли составляет более 60%.

ГЛАВА 3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ И ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ

3.1 Постановка задачи исследований

На сегодняшний день все основные способы обеспыливания покрытий технологических автомобильных дорог на угольных разрезах делятся условно на 3 типа [87]:

1. Удаление пыли механическим способом.
2. Смешение материалов покрытия с вяжущими и клеящими добавками.
3. Поверхностная обработка или пропитка покрытия.

Постоянная эксплуатация технологических автодорог увеличивает пылимость и приводит к увеличению затрат на их обслуживание и содержание [72].

По некоторым данным, высокая запыленность на автодорогах низшего и переходного типа ухудшает видимость и приводит к уменьшению пропускной способности в 2 раза [56, 76].

Радикальным способом борьбы с пылевыведением на открытых горных работах является использование дорог с жестким железобетонным покрытием, которое обычно укладывается в карьерах на основных транспортных магистралях. Применение таких покрытий позволяет существенно снизить пылеобразование на дорогах при условии систематической уборки просыпей перевозимой горной массы и грязи, наносимой колесами автомашин. Но данный способ характеризуется дороговизной, поэтому не используется на разрезах.

В районах с высокой относительной влажностью воздуха (свыше 60-65%) положительные результаты в пылеподавлении наблюдаются при применении гигроскопических солей, обеспыливающее действие которых основано на адсорбации атмосферной влаги (хлористый кальций, магний, карналит, соли хлорноватистой кислоты и др.). Известен опыт обработки дорог хлористым кальцием в юго-западных штатах США [62]. Перед обработкой полотно дороги разрыхляли с помощью грейдера на глубину до 15 см, наносили хлористый кальций

с нормой $0,4 \text{ кг/м}^2$, а затем грунт перемешивали и орошали водой, при этом пылеобразование значительно снижалось. В работе [42] отмечается недостаточная эффективность пылеподавления от применения щелочей для связывания пыли на автодорогах. При этом запыленность дорог составляет $10,8 \text{ мг/м}^3$. Концентрация пыли в воздухе может быть снижена применением на дорогах поваренной соли и ее смеси с хлористым кальцием. При начальной концентрации $16\text{-}32 \text{ мг/м}^3$ запыленность воздуха в первом случае снижается до $3,5 \text{ мг/м}^3$, а во втором до $1,8 \text{ мг/м}^3$. Использование хлористого магния, карналлита и других солей, также показало в определенных условиях хороший пылеподавляющий эффект.

Однако большинство солей не связывают пыль, а лишь способствуют удержанию влаги. Кроме того, соли имеют ряд существенных недостатков, к которым следует отнести их ограниченную область применения по атмосферно-температурному фактору. При низкой относительной влажности соли не эффективны, что требует частой обработки дорог в жаркую и сухую погоду [59]. В период дождей соли вымываются из полотна дороги и оказывают коррозионное воздействие на металлические части подвижного состава, для предотвращения которого требуется добавка дорогостоящих ингибиторов. Ввиду перечисленных недостатков гигроскопические соли в нашей стране нашли лишь ограниченное применение.

В районах с сухим и умеренным климатом для подавления пыли используются органические вяжущие вещества, обеспыливающий эффект которых основывается на склеивании пыли между собой и с материалом покрытия. В практике обеспыливания карьерных дорог наиболее известны случаи применения сульфитно-спиртовой барды. Водные растворы сульфитно-спиртовой барды использовали на автодорогах Николаевского и Сибайского карьеров. Экспериментальные работы по определению эффективности обеспыливания сульфитно-спиртовой бардой 25%-ой концентрации проведены на автодорогах Зырянского карьера. На дорогах Канады и других стран для укрепления дорог применяется сульфитноцеллюлозный щелок. Обработка подготовленной дороги с щебеночным основанием производится с помощью грейдера, на котором

устанавливается бак с 25%-ным раствором, что позволяет одновременно очищать и смачивать полотно дороги. Действие обработки, в зависимости от погодных условий, сохраняется до 3 недель [40, 41].

Относительными недостатками сульфитного щелока, сульфитно-спиртовой барды и их концентратов являются малая водоустойчивость и вымываемость из покрытия во время дождей. Существующие способы перевода веществ в нерастворимые состояния трудоемки, дороги и малоэффективны. Обработанный грунт в сухом состоянии приобретает значительную прочность и связность, но отличается жесткостью и хрупкостью. Покрытия, обработанные сульфитно – спиртовой бардой, ее концентратами и сульфитно-целлюлозными щелоками, не допускают выравнивания профилированием, поэтому все эти вещества следует применять для обработки покрытий, имеющих высокую плотность и ровную поверхность.

Широкое распространение в дорожном строительстве получили органические вяжущие вещества: нефтяные жидкие сорта битума; дорожный каменноугольный деготь; сланцевый битум; тяжелая сырая нефть; каменноугольные, буроугольные, сланцевые и газовые смолы; топочный мазут; битумные, сланцевые и дегтевые эмульсии, пасты, шламы.

К недостаткам применения битума для обеспыливания карьерных автодорог следует отнести дефицитность битума, необходимость в специальном оборудовании (битумоплавильные агрегаты, парообразователи, гомогенизаторы, диспергаторы и др.), а также значительная сложность технологии обработки им автодорог. При малом сроке службы карьерных автодорог применение битумов нецелесообразно с точки зрения экономической эффективности. Общими недостатками применяемых для обеспыливания автодорог органических вяжущих материалов являются низкая скорость смачивания, сложная технология обработки дорог, а также высокое содержание фенола в некоторых веществах.

Для борьбы с пылью на автодорогах угольных разрезов автором А.Н.Купиным [42, 43] разработаны составы универсин-А (маловязкий) и универсин-Б (высоковязкий). В составе этих веществ содержатся масла, значительное

количество смол и асфальтенов, наиболее активно реагирующих с поверхностью грунтовых частиц. Под действием солнечной радиации и кислорода происходит улучшение вяжущих свойств универсинов, при их окислении и упрочнение обработанных ими покрытий автодорог.

Кроме этого, имеется опыт обработки полотна автодороги отработанными маслами. Известно, что при обработке полотна дороги с расходом 0,8-1,0 кг/м², оно сохраняет эксплуатационные характеристики и характеризуется небольшой пылеобразующей способностью [46, 54].

Среди имеющихся методов обеспыливания, применяющихся на предприятиях угольной промышленности, выделяют также пенные методы пылеподавления. Анализ показывает, что пена является также эффективным средством борьбы с пылью [52].

Применение пены в промышленных условиях демонстрирует значительное повышение эффективности улавливания крупно- и тонкодисперсной пыли. Применение физико-химических методов пылеподавления имеет преимущества по сравнению с другими методами (например, с применением воды). Среди них выделяют: высокие смачивающие свойства, уменьшение поверхностного натяжения воды, большая площадь контакта пены с разрушенной горной массой, возможность создания большой поверхности смачивающей жидкости для мельчайших пылинок при незначительном расходе смачивателя, а также возможность использования в условиях высоких и низких температур [47].

Кроме этого, применение пенного метода пылеподавления приводит к снижению вторичного образования пыли. При этом удельный расход пены и пенообразователя определяется по формулам 3.1 и 3.2.

$$V_{\text{ж.уд.}} = [(V_{\text{ж}} - V_{0\text{ж}}) \cdot t] / 60 / G_{\text{п}}, \quad (3.1)$$

где $V_{\text{ж.уд.}}$ – удельный расход пенообразователя для связывания пыли, мл/г; $V_{\text{п.уд.}}$ – удельный расход пены для связывания пыли, мл/г; $V_{\text{ж}}$ – общее количество пенообразователя после взаимодействия с пылью, мл; $V_{0\text{ж}}$ – количество пенообразователя при самопроизвольном разрушении пены, мл/мин; t – время подачи пыли, с; $G_{\text{п}}$ – количество пыли, г.

Перед каждым определением измеряется кратность пыли. Для этого пена, выходящая из отверстия установки, набирается в сосуд известного объема. После полного разрушения пены, определяется K пенообразователя в сосуде:

$$K = V_{\text{п}}/V_{\text{ж}} \quad (3.2)$$

где $V_{\text{п}}$ – объем пены в сосуде, мл; $V_{\text{ж}}$ - объем воды, мл [45].

Срок эксплуатации технологических автодорог в зависимости от глубины карьера представлен на рисунке 3.1 [44].

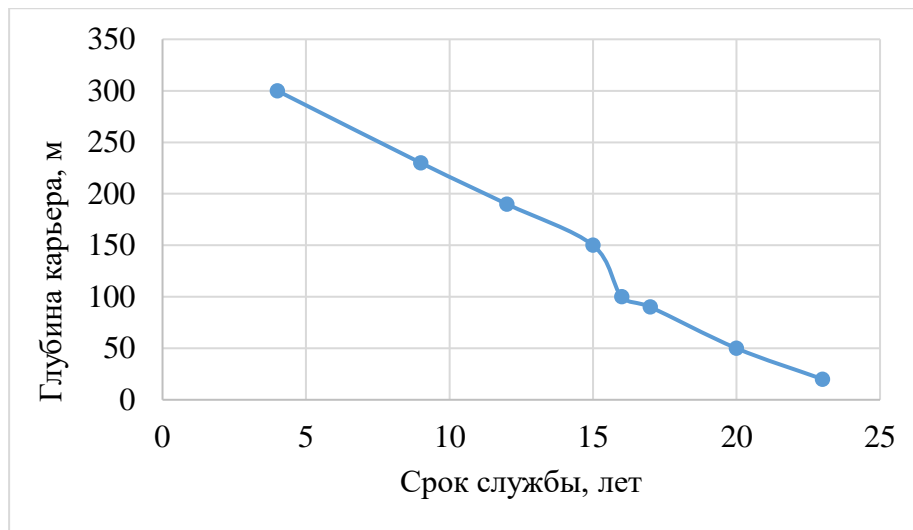


Рисунок 3.1 – Зависимость срока эксплуатации автодорог от глубины ведения горных работ

Наиболее распространенным способом борьбы с пылью на автодорогах с грунтовым покрытием является их систематическая поливка водой при помощи различных поливочных машин или водопроводных магистралей (рисунок 3.2).

При этом частота поливов зависит от многих факторов и, прежде всего, от температуры и влажности воздуха и практически колеблется в диапазоне 10-30 минут. Такой способ борьбы с пылью характеризуется доступностью и экономической обоснованностью и возможностью создания замкнутого водного цикла на территории угольного разреза.



Рисунок 3.2 – Орошение автодороги

Как видно практически все имеющиеся мероприятия по обеспыливанию имеют ряд недостатков и в большинстве случаев не применяются в условиях открытых горных работ на технологических автодорогах. В этой связи одной из целей диссертационной работы являлось совершенствование способа гидрообеспыливания.

3.2 Лабораторный стенд для проведения исследований

Характер движения пылевых частиц в окружающей воздушной среде определяется их массой (плотностью и размерами). Совокупность пылевых частиц аэрозоля можно разделить на три группы:

- пылевые частицы размером более 100 мкм;
- пылевые частицы размером от 1 до 100 мкм;
- пылевые частицы размером менее 1 мкм.

При оседании на пылевую частицу действуют 3 основные силы: сила тяжести, сила адсорбции и сила сопротивления потока окружающего воздуха. В неподвижном воздухе частицы пыли подвержены действию первых двух сил. Когда адсорбционные силы уравновешивают силу тяжести, осаждение частицы пыли происходит с постоянной скоростью.

В реальных производственных условиях осаждение частиц пыли происходит в движущемся воздухе. Именно поэтому частицы размером 2 – 3 мкм в этих

условиях практически не оседают, а переносятся на значительные расстояния, если не встречаются на своем пути препятствий. Поэтому запыленность воздуха в производственных помещениях и на промплощадках предприятий горной промышленности может быть значительной не только в местах пылеобразования, но и в достаточно удаленных зонах [78].

На поведение пылевого аэрозоля также оказывает влияние процесс коагуляции. Склонность к коагуляции частиц пылевого аэрозоля (кинетическая устойчивость), в первую очередь, зависит от концентрации частиц в воздушной среде. Когда концентрация пылевых частиц велика, коагуляция протекает с большой скоростью, но затем постепенно падает и в конечном счете становится независимой от начальной концентрации частиц [9, 31].

Перед началом экспериментов была спроектирована лабораторная установка, представляющая собой замкнутый объект с отверстием для установки вентилятора (имитация воздушного потока, обуславливающего пылевынос с дорожного покрытия). По итогам измерения скоростного режима в разработанном стенде была составлена схема распределения воздушного потока (рисунок 3.3).

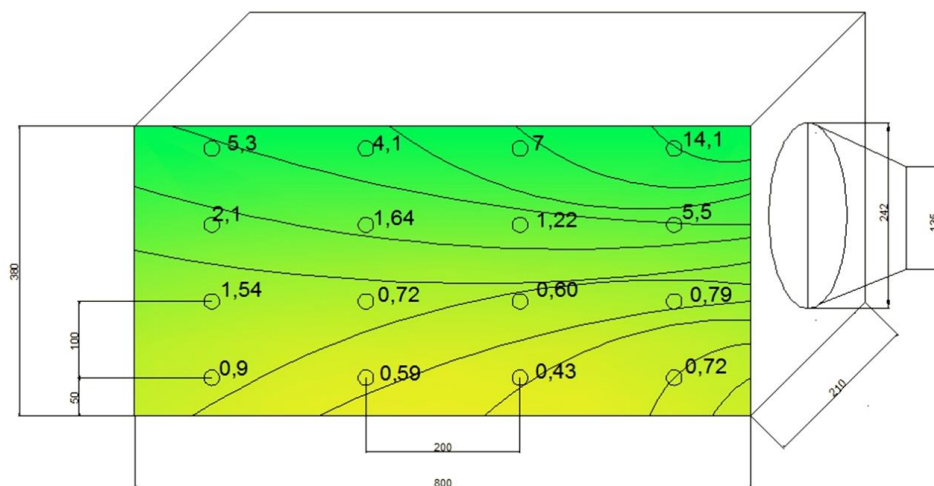


Рисунок 3.3 – Распределение скорости воздуха в установке

С целью более подробного определения параметров гидрообеспыливания при работе карьерного транспорта на автодорогах угольного разреза на базе Горного университета был спроектирован и собран макет стенда для различных

параметров дисперсии воды. Принципиальная схема станда представлена на рисунке 3.4.

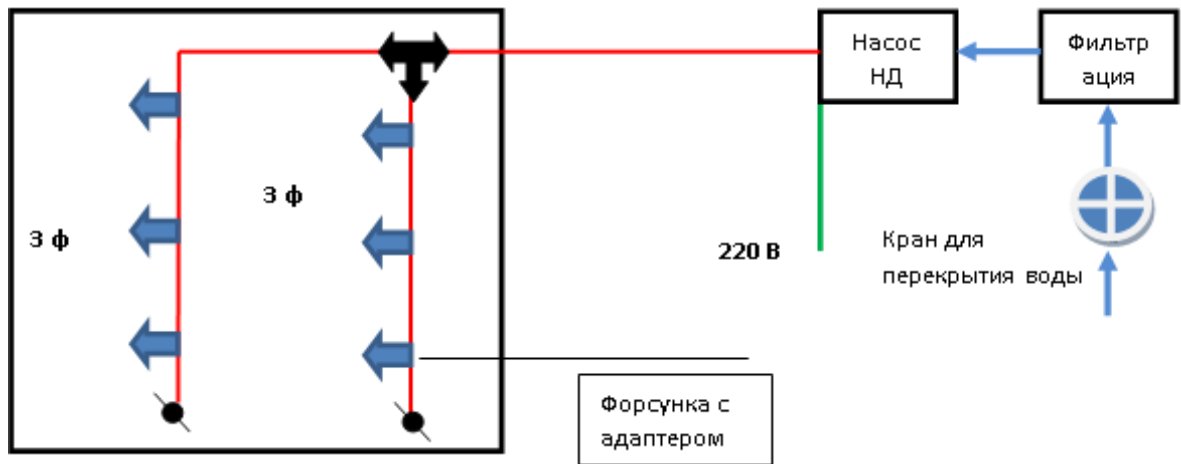


Рисунок 3.4 – Принципиальная схема лабораторного станда

Станд состоит из основного корпуса, в котором имеется возможность имитировать пылеперенос и пылеподавление от дорожного покрытия. Дорожное покрытие представляет собой насыпь из горных пород. Пылеперенос осуществляется с помощью установки нагнетания воздуха. Система пылеподавления представляет собой несколько шлангов с встраиваемыми форсунками, соединенных между собой. Система низконапорного гидроорошения располагается по верхним бортам лабораторного станда (рисунки 3.5, 3.6).



а

б

Рисунок 3.5 – Режимы подготовки станда
а – без насыпи угольной пыли, б – с угольной пылью

Такая система питается за счет стационарной подачи воды (рисунок 3.6, б), а давление воды регулируется компрессорным насосом (рисунок 3.6, в).



а

б

в

Рисунок 3.6 – Система подачи воды и орошения экспериментального стенда

а – одна из базовых 6 форсунок для распыления воды (можно варьировать от 1 до 6 форсунок с 4 различными диаметрами распыла); б – подача воды от стационарной системы водоснабжения; в – компрессор для регулирования уровня давления

Технические характеристики установки выбраны с учетом соблюдения критериев геометрического (формула 3.3) и динамического подобия (формула 3.4).

Критерий геометрического подобия:

$$K_1 = \frac{L_m}{L_n} = \frac{6\text{м}}{60\text{м}} = 0,1, \quad (3.3)$$

где K_1 - коэффициент геометрического подобия, масштаб моделирования; L_m - линейный размер на модели, м; L_n - линейный размер на натуре, м.

Критерий динамического подобия:

$$K_2 = \frac{F_m}{F_n} = \frac{\rho_m \cdot v_m^2 \cdot L_m^2}{\rho_n \cdot v_n^2 \cdot L_n^2} = \frac{1,225 \cdot 3,6^2 \cdot 6^2}{1,225 \cdot 4,2^2 \cdot 60^2} = 0,007, \quad (3.4)$$

где K_2 - коэффициент динамического подобия; F_m - основная динамическая сила на модели, Н; F_n - основная динамическая сила на натуре, Н; ρ_m - вязкость воздуха

на модели, кг/м^3 ; ρ_n - вязкость воздуха на натуре, кг/м^3 ; v_m - средняя скорость воздуха на модели, м/с; v_n - средняя скорость ветра на натуре, м/с.

Таким образом, полученные критерии позволяют говорить об относительной релевантности измерений на стенде и в условиях угольного разреза.

3.3 Методика экспериментальных исследований процессов пылеобразования и пылепереноса от автодорог

Для определения различных параметров пылеобразования и пылепереноса [18,24] при работе с экспериментальным стендом использовалось следующее оборудование.

Для анализа фракционного состава полученных проб пыли использовался аппарат *Camsizer X2* (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Аппарат для определения фракционного состава

Для проведения экспериментов использованы пробы угольной пыли с временной автодороги на угольном разрезе с размерами частиц 250 мкм, 500 мкм, 1000 мкм. Для анализа фракционного состава пыли, а также распределения объема пылевых частиц различного фракционного состава применялся счетчик пылевых частиц *DT-9880* (рисунок 3.8 а).

Для определения концентрации пыли гравиметрическим (весовым) методом на различных экспериментальных этапах использовался аспиратор АПВ-4 с встроенным анемометром (рисунок 3.8, б), имеющий возможность

четырёхканального отбора проб пыли с помощью аспирационных фильтров АФА-ВП-10 или АФА-ВП-20. По методике [53] с помощью аналитических весов определяются разница масс фильтров до и после загрязнения для определения навески пыли и дальнейшего расчета ее концентрации.

Концентрация пыли при рабочих условиях рассчитывается по формуле 3.5.

$$C_{p.y.} = \frac{\Delta P}{V_{зам}}, \text{ мг/м}^3, \quad (3.5)$$

где $\Delta P = P_k - P_n$ – масса уловленной фильтром пыли, мг; P_n и P_k – масса фильтра АФА соответственно до и после аспирации, мг; $V_{зам}$ – объем воздуха, из которого выделили пыль на фильтре, м³.

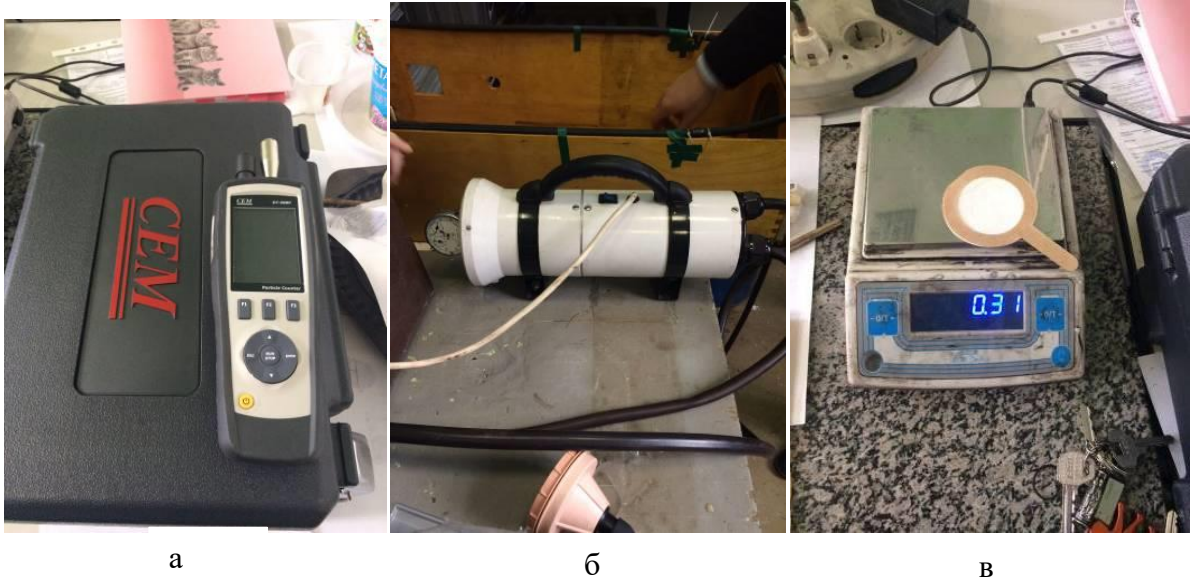


Рисунок 3.8 – Приборная база для определения параметров запыленности воздуха
 а – счетчик пылевых частиц DT 9880; б – аспиратор АВП-12; в – фильтр АФА-ВП-20 в аллонжи на измерительных весах

Одновременно с отбором проб воздуха на запыленность измерялась температура ($T, ^\circ\text{C}$) и давление воздуха (B , мм рт. ст.) для приведения объема воздуха при рабочих условиях $V_{зам}$, из которого выделили пыль на фильтре, к стандартным условиям (760 мм рт. ст. и 20°C) (формула 3.6).

$$V_{прив} = 0,386 \frac{V_{зам} \cdot B}{273 + T}, \text{ м}^3, \quad (3.6)$$

где $V_{прив}$ – объем воздуха, приведенный к стандартным условиям; $V_{зам}$ – объем воздуха, из которого выделили пыль на фильтре, м³; B – давление воздуха, мм рт. ст; T – температура воздуха, °С.

1. Для определения сопутствующих микроклиматических параметров (температура и влажность воздуха, скорость движения воздуха, атмосферного давления) применялась микроклиматическая экспресс-лаборатория МЭС-200 (рисунок 3.9).



Рисунок 3.9 – Экспресс-лаборатория МЭС-200 для определения сопутствующих микроклиматических параметров эксперимента

В соответствии с методикой пылевых исследований на сильфонном аспираторе АПВ-4 измерения проводились следующим образом:

- на подготовительном этапе фильтр АФА-ВП-10 размещается в аллонжи и упаковывается в специально подготовленный и пронумерованный конверт, после чего взвешивается на лабораторных весах и результат заносится в сводную таблицу измерений;
- на следующем этапе в соответствии с порядковым номером аллонжи с фильтрами и устанавливаются в фильтроприемник;
- на сильфонном аспираторе АПВ-4 выбирается необходимый канал забора проб воздуха, соответствующий различным скоростям забора воздуха (от 1 до 20 литров в минуту);
- фильтроприемник через сильфонный шланг соединяется с выбранным каналом отбора проб воздуха, устанавливается на специальный фиксирующий

штатив, после чего аспиратор заводится на выбранный временной интервал (не менее 4-5 минут);

- для достоверной выборки рекомендуется проводить не менее 50-60 отборов проб воздуха;

- после каждого забора запыленный фильтр вставляется в тот же конверт, что позволяет более четко зафиксировать данные о массе пыли;

- все собранные конверты доставляются обратно в лабораторию, где взвешиваются на тех же самых весах, что и чистые конверты на подготовительном этапе. Разница в массах конверта до и после эксперимента дает массу пыли, необходимую для расчета концентрации пыли;

- объем воздуха при отборе определяется по формуле 3.9.

$$V_{\text{зам}} = v \cdot t, \quad (3.9)$$

где $V_{\text{зам}}$ - замеренный объем воздуха, л; v – скорость отбора пробы, л/мин; t – время отбора пробы, мин.

- для определения температуры, скорости ветра и атмосферного давления применялась микроклиматическая экспресс-лаборатория МЭС-200, данные с которой также заносятся в сводные таблицы;

- с учетом измеренного объема воздуха, температуры и давления по формуле (3.4) определяется приведенный объем воздуха, а с учетом данных о разнице масс конвертов с «чистыми» и «грязными» фильтрами по формуле (3.5) определяется концентрация пыли [25].

Диаметр анализируемых гидравлических форсунок изменялся от 0,5 мм до 3 мм (таблица 3.1). Кроме этого, было также выполнено контрольное измерение без применения форсуночного распыления.

Форсунки располагались по желобам экспериментального стенда по 3 штуки с каждой стороны. Масса пылящего материала во время каждой серии экспериментов была одинаковой. Кроме этого, в установке создавался одинаковый ветровой режим ($v=2,5$ м/с, что аналогично для района расположения Аршановского разреза).

Таблица 3.1 – Базовые технические характеристики использованных в экспериментальном стенде форсунок

Размер условного проходного сечения, мм	Производительность форсунки (л/мин) при давлении (атм)								
	0,5 атм	1,5 атм	2 атм	3 атм	4 атм	5 атм	6 атм	7 атм	10 атм
0,5	0,2	0,3	0,35	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,75
1	0,25	0,4	0,5	0,55	0,65	0,75	0,8	0,85	1,0
2	0,27	0,5	0,6	0,60	0,70	0,80	1	1,05	1,25
3	0,3	0,6	0,7	0,65	0,75	0,85	1,2	1,15	1,5

В лабораторную установку подавался воздух на протяжении 10 минут. Далее работала система гидроорошения в течение 1 минуты. После этого определялись концентрация пыли в лабораторной установке. Также с помощью счетчика пылевых частиц измерялось количество тонкодисперсной фракции.

Измерения проводились согласно методическим указаниям [53].

3.4 Результаты лабораторных исследований параметров гидрообеспыливания

В процессе подготовки проб угля к дальнейшим экспериментам были получены графики пофракционного распределения образцов. Результаты дисперсионного анализа отобранных проб представлены ниже.

В результате анализа на аппарате *Camsizer X2* было установлено, что в пробе с мелкой фракцией размерностью 250 мкм преобладает фракция диапазоном от 100 до 200 мкм (рисунок 3.10).

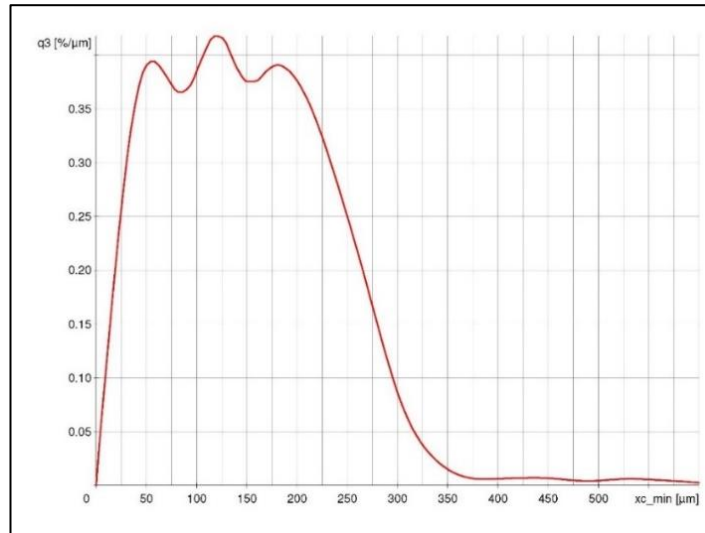


Рисунок 3.10 – Распределение частиц фракции 250 мкм

В средней фракции крупностью в 500 мкм преобладают частицы с размером от 250 до 500 мкм (рисунок 3.11).

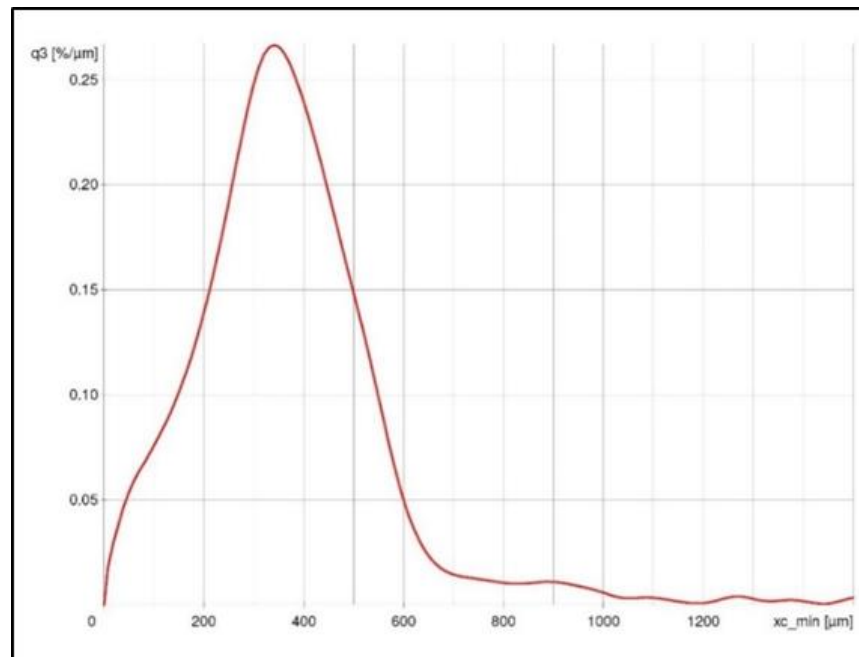


Рисунок 3.11 – Распределение частиц фракции 500 мкм

Аналогичную ситуацию наблюдаем при анализе крупной фракции размером 1000 мкм. Данный образец представлен частицами различных фракций, начиная от 600 мкм, заканчивая 800 мкм (рисунок 3.12).

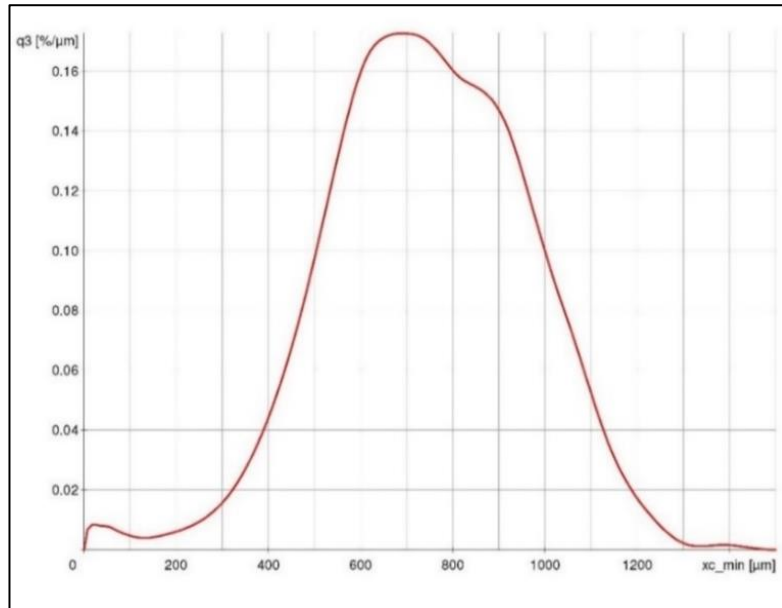


Рисунок 3.12 – Распределение частиц фракции 1000 мкм

В результате проведенных экспериментов по гидрообеспыливанию было установлено, что в различных точках установки для частиц размером 250 мкм и 500 мкм эффективными оказались форсунки с диаметром 0,5 мм. А для более крупной фракции 1000 мкм, наиболее эффективными оказались форсунки с большим диаметром 0,7 мм (рисунок 3.13).

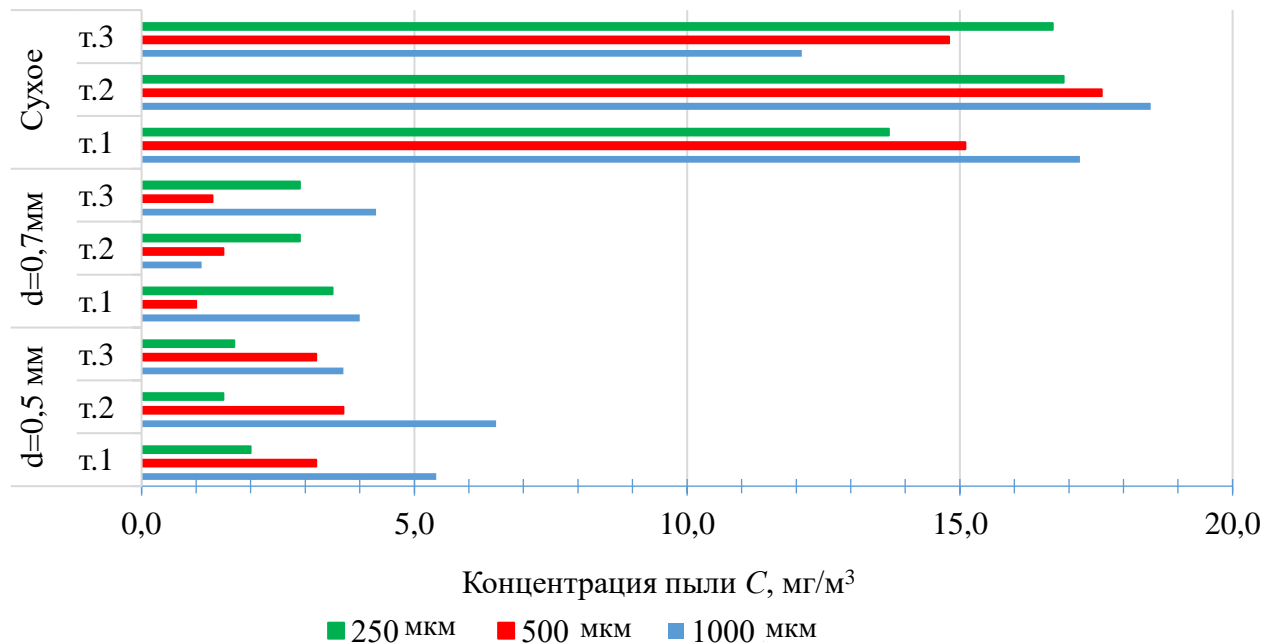


Рисунок 3.13 – Зависимость концентрации различных фракций угольной пыли от вида форсунок (центр экспериментального стенда)

Такая зависимость обусловлена тем, что наибольший эффект пылеподавления устанавливается в том случае, когда размер пылевой частицы и размер диспергируемой жидкости приблизительно одинаков. В данном случае наблюдается эффект максимальной коагуляции в системе «угольная частица - водяная капля», что несомненно увеличивает эффективность противопылевых мероприятий (рисунок 3.14).

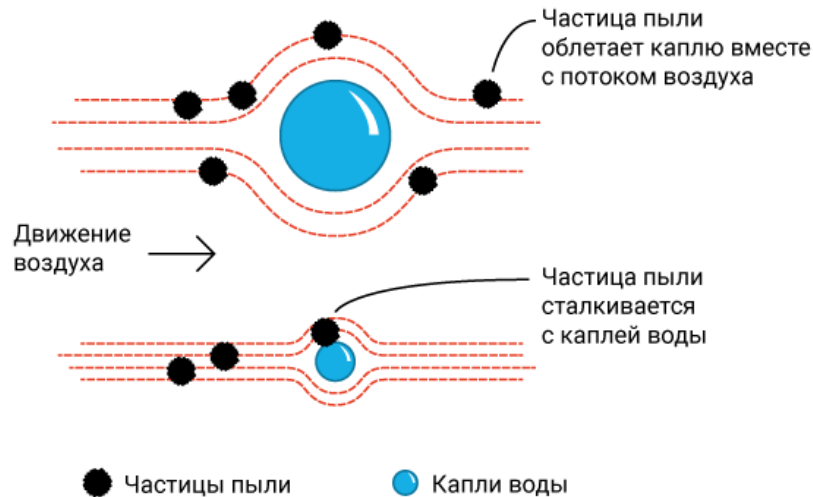


Рисунок 3.14 – Коагуляция при соизмеримых частицах воды и угольной пыли

Для более достоверных результатов проведения экспериментов было измерено количество частиц мельче 10 мкм. В рамках эксперимента также варьировалась величина давления в насосе. Как видно из представленных диаграмм для частиц от 0,3 до 0,5 мкм наиболее эффективна дисперсность воды, получаемая в ходе орошения форсунками диаметром 0,5 мм (рисунок 3.15).

В ходе экспериментов также было установлено наиболее рациональное значение для диаметра форсунок и давления подаваемой жидкости в целях эффективного улавливания пыли, образующейся с поверхности технологических автодорог во время эксплуатации (рисунок 3.16).

Кроме этого, были получены значения тонкодисперсной фракции пыли от автодорог различного минералогического состава при различном способе гидроорошения: обычный полив, мелкодиспергированное низконапорное и комбинированное.

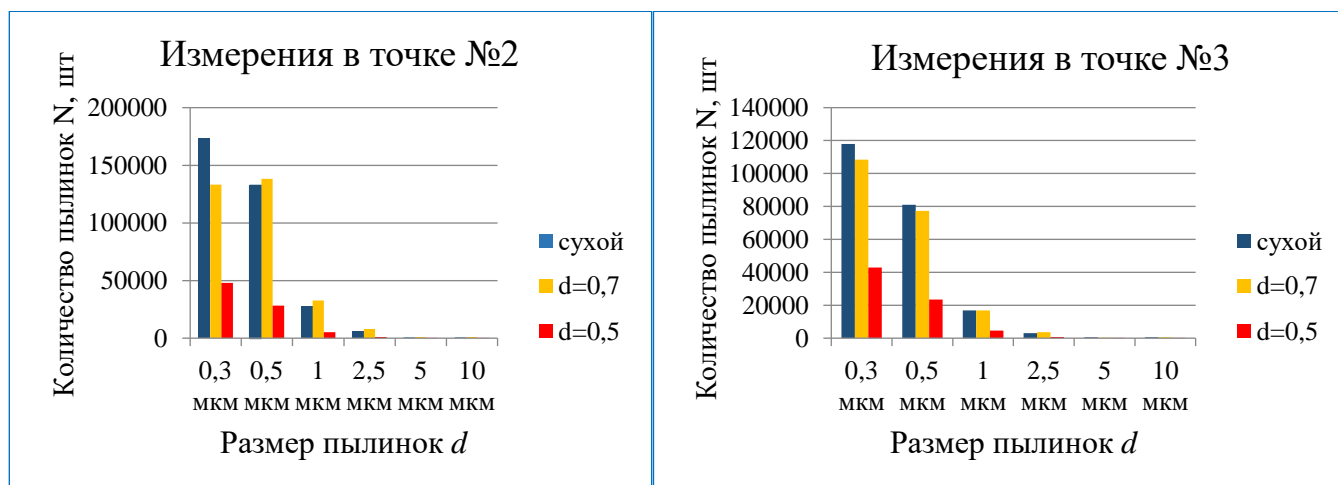
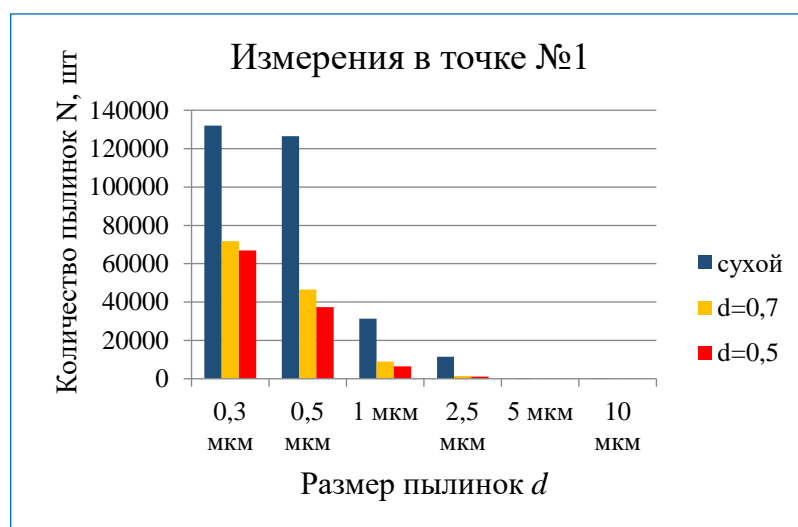


Рисунок 3.15 – Пофракционное распределение пылевых частиц в зонах измерительных точек

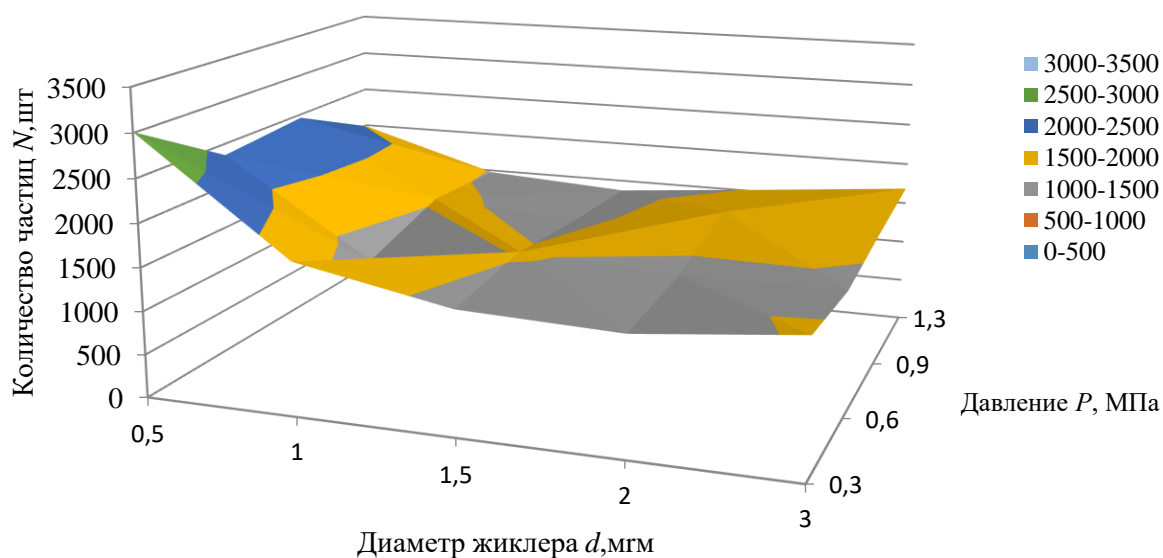


Рисунок 3.16 – Зависимость количества частиц от диаметра форсунок и давления

Измерения проводились в лабораторной установке с объемом воздуха 0,0225 м³, над испытуемой пылящей поверхностью площадью 0,15 м². 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».

В результате было установлено, что наиболее эффективным является комбинированный способ орошения, который позволяет снизить уровень запыленности на 40% (рисунок 3.17).

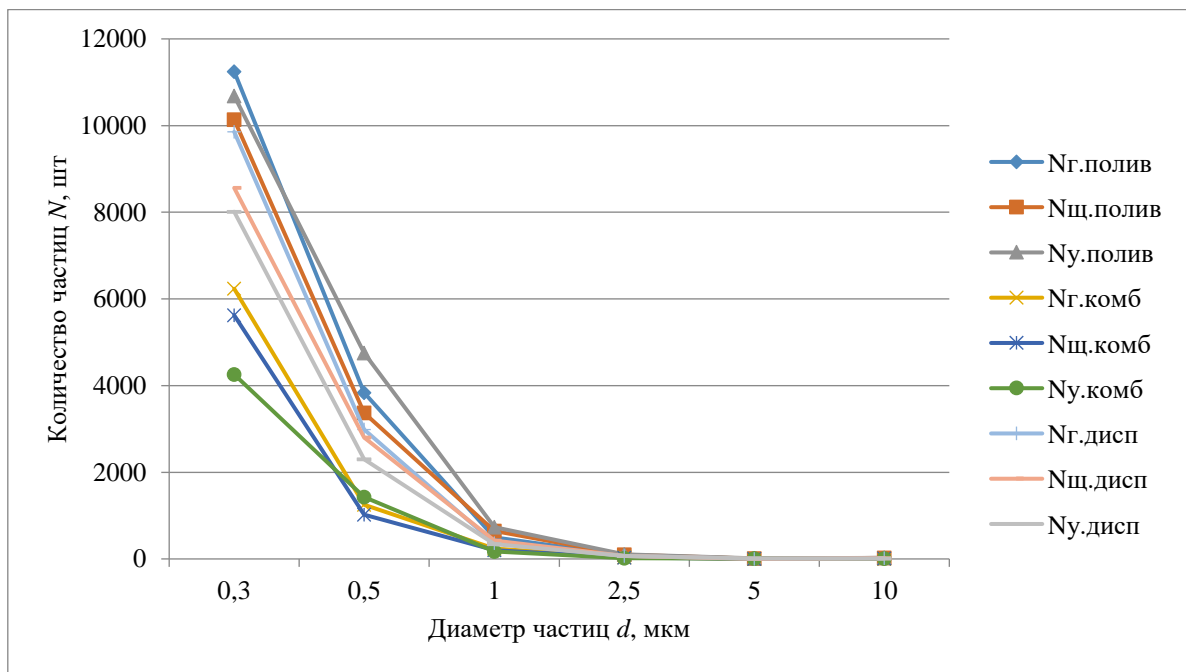


Рисунок 3.17 – Графики зависимости количества частиц пыли горельника, щебня и угля при орошении поливом, мелкодиспергированном распылении и комбинированном способе

Данные, полученные в ходе экспериментальных исследований, позволяют утверждать, что на этапе измерения уровня аэротехногенного воздействия производственных операций на воздух рабочей зоны необходимо устанавливать дисперсность образующейся пылевой фракции. В дальнейшем это позволит выбирать оптимальную дисперсность распыла в оросительных системах стационарного и передвижного типа для более высокой эффективности пылеподавляющих мероприятий [40, 44].

1.5 Выводы по главе 3

1. В результате диспергирования жидкости в системе водяного орошения отмечается примерно двукратное укрупнение пылевых частиц, что существенно увеличивает их массу, а соответственно, уменьшает дальность их выноса.

2. Рост степени диспергирования жидкости наблюдается при увеличении давления жидкости в распылителе, что приводит к уменьшению размеров получаемых капель жидкости и увеличению эффективности улавливания тонкодисперсных фракций пыли.

3. Полученные результаты измерений позволяют сформировать пути решения проблем пылепоступления в атмосферу угольных предприятий на временных и постоянных автодорогах, в зависимости от фракционного и химического состава образующейся пыли.

4. Комбинированный способ гидроорошения, состоящий из обычного полива и мелкодиспергированного орошения, позволяет снизить долю наиболее пневмоникоозопасной фракции пыли от автодорог на 40%.

ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО УМЕНЬШЕНИЮ ЗАПЫЛЕННОСТИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОТКРЫТОЙ УГЛЕДОБЫЧИ

4.1 Расчет количества респирабельной фракции пыли в общей массе

Содержание количества частиц респирабельной фракции PM_{10} и $PM_{2,5}$ определяет степень опасности аэрозолей преимущественно фиброгенного действия. Поэтому для оценки вредности образующейся пыли необходимо тщательно подходить к расчету количества тонкодисперсных частиц. Количество частиц размером PM_{10} указывает о количестве частиц, поступающих в органы дыхания человека за гортанью. А частицы размером $PM_{2,5}$ определяют степень загрязнения альвеолярных отделов дыхательной системы.

Таким образом, содержание частиц респирабельной фракции характеризует не только степень загрязнения дыхательной системы рабочих, но и количество вредных компонентов, проникающих в кровь [31, 38].

Для оценки дисперсного состава витающей дорожной пыли было определено процентное содержание количества респирабельных частиц ($PM_{2,5}$ и PM_{10}) в общей массе пыли (таблица 4.1).

Таблица 4.1– Распределение фракций пыли по массе

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

По данным таблицы 4.1 количество респирабельной фракции в общей массе тонкодисперсной фракции пыли составит 42 %. График зависимости изменения величины прохода (%) частиц пыли от их диаметра представлен на рисунке 4.1.

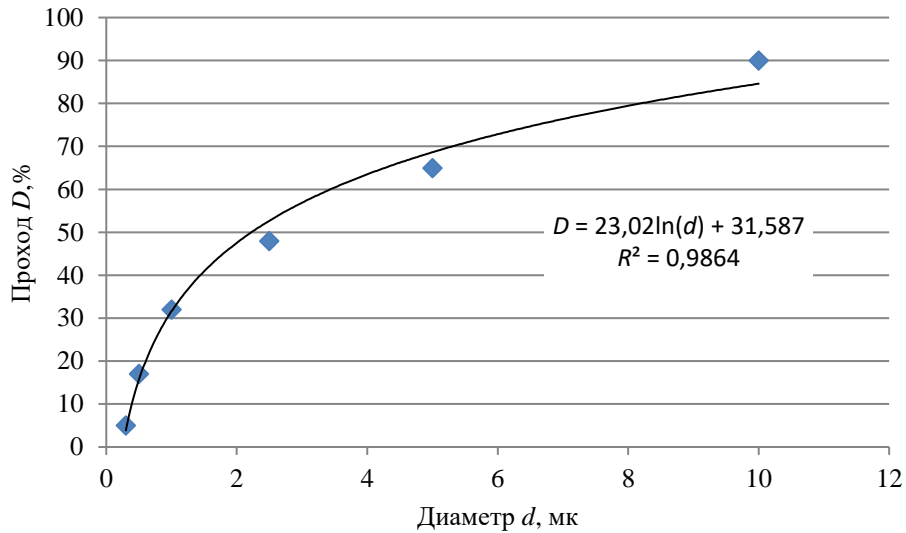


Рисунок 4.1 – Характеристика величины прохода (%) частиц пыли в зависимости от их диаметра

Для более точного анализа определения дисперсного состава витающей пыли был произведен анализ образцов фракционного состава пыли автодорог низшего и переходного типа на аппарате *Camsizer X2* (рисунки 4.2-4.3).

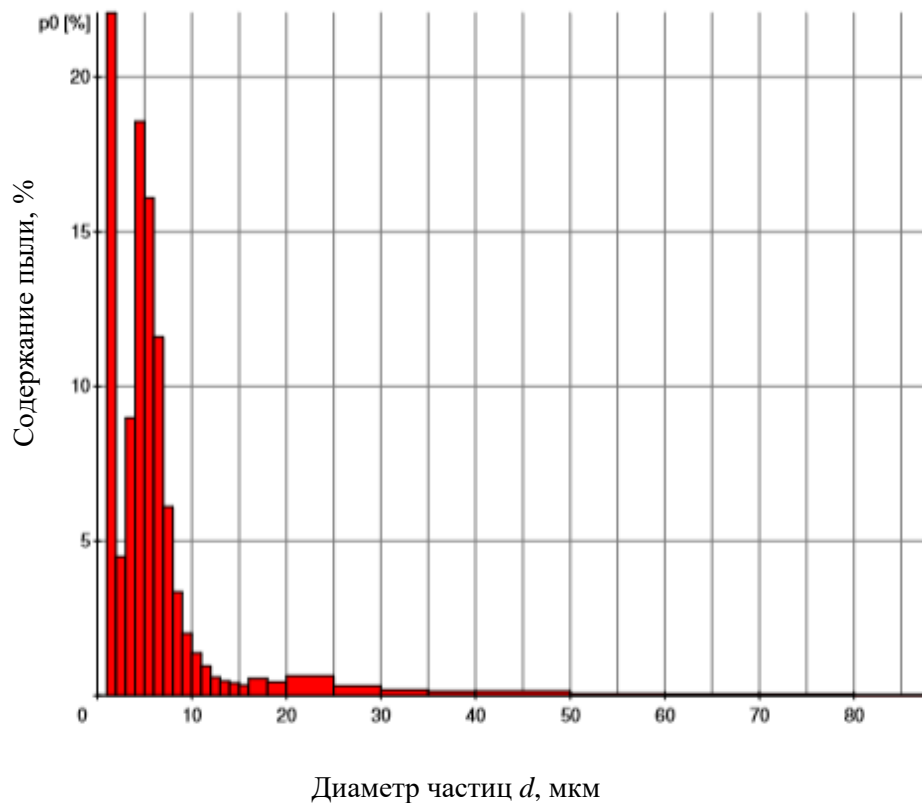


Рисунок 4.2 – Характеристика распределения пыли от постоянной автодороги с покрытием из горельника

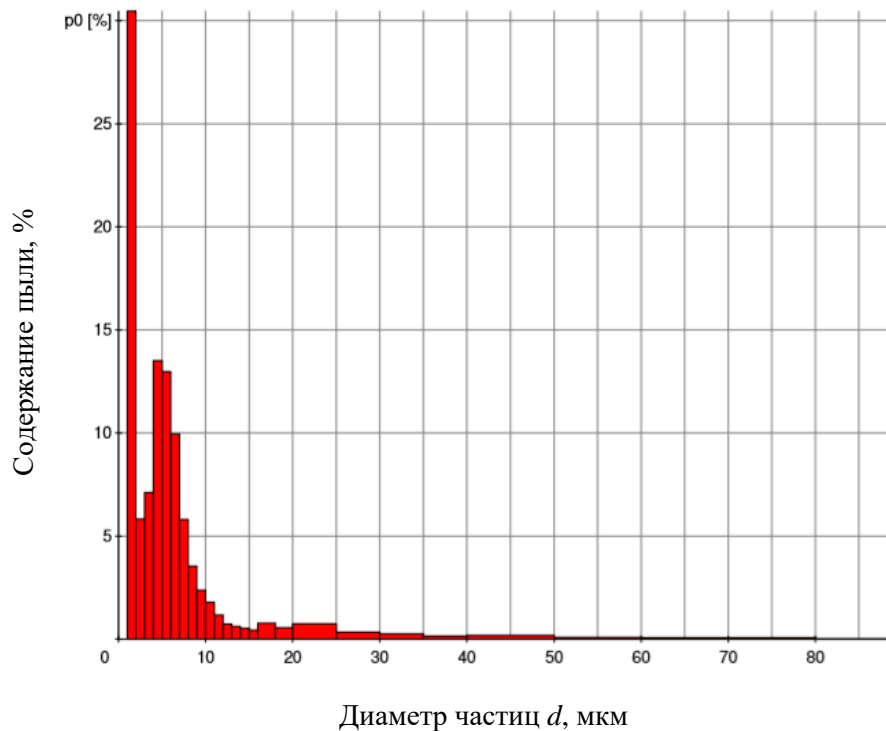


Рисунок 4.3 – Характеристика распределения пыли от постоянной автодороги с покрытием из щебня

В конечном итоге было сравнение результатов распределения фракций при использовании 2-х приборов *Camsizer X2* и *CEM DT-9880*. По характеру распределения дисперсности пылевых частиц от различных покрытий автодорог, полученных на основе анализа на *Camsizer X2*, можно сделать вывод о легитимности использования счетчика измерительных частиц для дальнейшего перевода количества витающих пылинок в массовое содержание. Так как отсутствуют расхождения по полученным значениям.

4.2 Выбор параметров гидрообеспыливания и технология пылеподавления

Для оценки эффективности пылеподавления при использовании мелкодиспергированного орошения были проведены лабораторные испытания. На первом этапе основная задача заключалась в эффективности пылеподавления тонкодисперсной фракции пыли при различных способах орошения. Зависимость уровня респирабельных частиц в зависимости от способа диспергации воды представлена на рисунке 3.17.

На втором этапе была рассмотрена эффективность пылеподавления в зависимости от параметров распыления: давления подаваемой жидкости и

диаметра жиклера. Давление варьировалось от 0,3 до 1,3 МПа, диаметр жиклера соответственно от 0,5 до 3,0 мм (рисунок 3.16).

На основе результатов, полученных в ходе проведения лабораторных экспериментов, предлагается в дополнение к имеющемуся оросительному элементу на поливооросительных автомобилях разреза внедрить систему мелкодиспергированного орошения (рисунок 4.4). Она состоит из насоса низкого давления (0,69 МПа) и системы гидравлических форсунок диаметром 1 мм с факелом раскрытия 120 градусов на высоте 3 метра от дорожного полотна. Такое расположение увеличивает орошаемую поверхность, а угол распыления 120 градусов позволяет сократить количество используемых форсунок и сократить количество используемой воды [44].

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 [65, 67].



Рисунок 4.4 – Предлагаемая система туманообразования

Таким образом, использование комбинированного способа орошения позволит уменьшить количество витающей пыли респирабельной фракции в воздухе рабочей зоны при движении автотранспорта.

4.3 Требования к составу воды для гидрообеспыливания

При добыче угля открытым способом образуются следующие виды сточных вод [3, 61]:

- карьерные (формируются непосредственно в процессе производственного процесса);
- хозяйственно-бытовые (формируются в административно-бытовых корпусах);
- ливневые и производственные (формируются на территории производственной площадки).

Способы очистки зависят от состава сточных вод и требований на сброс в водный объект или передачу на использование. Очищенная вода частично используется для технологических нужд предприятия (на обеспыливание), неиспользованная отводится в реки или иные водные объекты.

Для очистки карьерных вод, как правило, используется механическая очистка сточных вод на участках открытых горных работ (разрезы). Данная схема аналогична схеме, используемой для очистки шахтных вод, за тем исключением, что на стадии предварительного отстаивания применяются не шахтные водосборники, а зумпфы. Также отличием является то, что при открытой добыче угля пруды-отстойники можно устраивать непосредственно в пространстве угольного разреза при наличии соответствующего разрешения [48].

В ряде случаев, когда ассимилирующая способность водных объектов исчерпывается предприятиями, расположенными выше и ниже по течению, а также если это позволяет экономика предприятий или имеются дополнительные меры государственной поддержки, то может быть реализована физико-химическая доочистка сточных вод.

Тонкая очистка сточных вод, основанная на использовании ионообменных или мембранных технологий, крайне редко применяется на предприятиях по добыче угля открытым способом из-за жестких требований к качеству исходной воды, высокой стоимости применения кислот и щелочей для промывки и значительных объемов образования сточных вод.

Исполнение очистных сооружений может быть стационарным (в здании) или передвижным (в контейнерах). При производительности более 50-100 м³/ч целесообразно возводить очистные сооружения в здании.

Состав хозяйственно-бытовых сточных вод при добыче угля схож со сточными водами, принимаемыми в централизованные системы водоотведения населенных пунктов (ЦСВ). В этой связи, как правило, предусматривается выгребная яма с передачей хозяйственно-бытовых стоков в систему ЦСВ. В отдельных регионах, расположенных на значительном удалении от крупных населенных пунктов, целесообразно предусматривать строительство локальных очистных сооружений, включающих системы механической и биологической очистки.

Как правило, ливневые сточные воды с территории промплощадки, производственные воды с базы автотранспорта, дизелевозного депо и складов горючесмазочных материалов поступают в ЦСВ. Стоки на участках открытых горных работ после механической очистки от взвешенных веществ и удаления нефтепродуктов на локальных очистных сооружениях используются на технологические нужды (оборотная или бессточная схема водоснабжения) либо для полива зеленых насаждений или передаются в ЦСВ.

Схема очистки данного вида сточных вод состоит из следующих стадий:

- усреднение различных видов поступающих сточных вод (применяется усреднитель);
- механическая очистка, совмещаемая с фильтрующими массивами и удалением нефтепродуктов (например, с помощью нефтеловушки или боновых фильтров);
- фильтрация (применяются засыпные фильтры);

- обеззараживание (осуществляется УФ-обработка);
- накопление очищенных вод в специальной емкости.

В отдельных случаях очистные сооружения дополнительно оборудуются установками типа:

- "ШЕМФ-20", "ШЕМФ-40" в которых отделяются нефтепродукты и взвешенные вещества, затем вода проходит через блок фильтров и обеззараживается бактерицидными установками;
- "Свирь-10У", в состав которой входит пескоотделитель, отстойники и фильтры из гранул пенополистирола [3, 94].

4.4 Выводы по главе 4

1. В результате фракционного анализа дисперсного состава образующейся пыли было установлено, что до 42 % дорожной пыли представлено размером менее 10 мкм. Полученные данные полностью коррелируются с данными микроскопического анализа, получаемого в ходе проведения лазерной дифракции.

2. Предложенный способ снижения пылеобразования с технологических автодорог, основанный на использовании комбинированного способа пылеподавления (обычный полив и мелкодиспергированное орошение), позволяет снизить на 40% долю респирабельной фракции в воздухе.

3. Для увеличения срока службы форсуночного распыления на поливооросительных автомобилях рекомендуется предварительно очищать подаваемую воду через массив горных пород, который имеет преимущество как в экономическом, так и в экологическом плане.

4. Установлено, что сумма затраты на модернизацию поливооросительного оборудования соответствуют размерам отчислений на мероприятия по охране труда в рамках Программы 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 фракционного состава 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 2,5-10 мкм. Полученные данные полностью коррелируются с данными микроскопического анализа, получаемого в ходе проведения лазерной дифракции.

5. Экспериментально установлена зависимость пылевыведения респирабельной 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 пылевых выделений с технологических автодорог, основанная на использовании комбинированного способа пылеподавления (обычный полив и мелкодиспергированное орошение), позволяет снизить долю респираторной фракции в воздухе на 40%.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров, В. Н. К определению фактических размеров частиц пыли выбросов стройиндустрии и строительства / Азаров В.Н., Кошкарев С. А., Николенко М. А. // ИВД. - 2015.- №1-2. – С.66-68.
2. Алексеев, В. Н. Анализ несчастных случаев и профзаболеваний на разрезе «Нерюнгринский» /Алексеев В.Н. // Горный информационно – аналитический бюллетень. - 2009. - №12. -С.87-91.
3. Балтакова, О.Р. Интенсификация процессов осветления карьерных сточных вод угольного разреза: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.04 / Балтакова Ольга Романовна. – Иркутск, 2005. – 154 с.
4. Бересневич, П.В. Аэрология карьеров: Справочник / П.В. Бересневич, В.А. Михайлов, С.С. Филатов. - М. : Недра, 1990. – 279 с.
5. Бересневич, П.В. Охрана окружающей среды при эксплуатации хвостохранилищ / П.В. Бересневич, П.К. Кузьменко, Н.Г. Неженцева. - М. : Недра, 1993. – 127 с.
6. Беспалов, В.И. Теоретические основы описания процесса очистки воздуха от газообразных загрязняющих веществ / Беспалов В.И., Мещеряков С.В. // БЖД. Охрана труда и окружающей среды. Ростов-н/Д: РГАСХМ, 1999. -254 с.
7. Битколов, Н.З. Аэрология карьеров. / Н.З. Битколов, И.И. Медведев. М.: Недра, 1992. – 236 с.
8. Беляев, М.Л. Борьба с пылью на автодорогах Учалинского рудника / Беляев М.Л., Васильев В.М., Купин А.П.// Горный журнал. -1981. -№8.- С.57-59
9. Волкова, М.В. Мелкодисперсные частицы PM_{2.5} и PM₁₀ в воздухе на урбанизированных территориях / Волкова М.В., Уланова Т.С. // Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). - Пермь, 2015. - С. 71-74.
10. Гейц И.В. Охрана труда Учебно-практическое пособие. Москва. «Дело и сервис».-2006.-682 с.

11. Гендлер, С.Г. Принципы оценки аэротехногенного воздействия предприятий на окружающую среду с учетом случайных факторов (на примере открытых горных работ/ С.Г. Гендлер, Е.И. Домпальм, В.А. Киселев, В.С. Кузнецов // Безопасность жизнедеятельности. - 2004. - № 6. - С. 28-32.

12. Гендлер, С.Г. Безопасность жизнедеятельности. Гигиеническая оценка условий труда/ Гендлер С.Г., Домпальм Е.И., Павлов И.А., Соловьев В.Б //СПГГИ (ТУ). СПб., 2009.-173 с.

13. Геологический отчет с подсчётом запасов каменного угля для открытой разработки в границах лицензионного участка Аршановский I Бейского месторождения в Республике Хакасия (геологическое строение, качество и запасы каменного угля по состоянию на 01.01.2012 г.). Техничко-экономическое обоснование постоянных разведочных кондиций для подсчета запасов угля в границах геологического участка «Аршановский I Бейского каменноугольного месторождения в Республике Хакасия» ; г. Кемерово, 2012 г.

14. ГН 2.1.6.2604-10. Дополнение № 8 к ГН 2.1.6.1338–03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [Электронный ресурс] / Утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 19.04.2010 г. № 26. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902216601> (дата обращения: 18.10.2016).

15. ГОСТ Р 54578-2011 Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия (Докипедия: ГОСТ Р 54578-2011 Воздух рабочей зоны. Аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Общие принципы гигиенического контроля и оценки воздействия).

16. ГОСТ Р 55175-2012 Атмосфера рудничная. Методы контроля запыленности. Издание официальное. - М.: Стандартинформ. - 2014. - 23с.

17. Дремов, А. В. Обоснование рациональных параметров обеспыливания в комбайновом проходческом забое : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : специальность 05.26.01 / Дремов Алексей Викторович ; [Моск. гос. горный ин-т]. - Москва, 2010. - 19 с.

18. Евтушенко, А.И. К вопросу исследования путей повышения эффективности пылеподавления орошением / Евтушенко А.И., Евтушенко И.И., Нор-Аревян С.Л., Бельская Я.В. // ИВД.-2016.-№3 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-issledovaniya-putey-povysheniya-effektivnosti-pylepodavleniya-orosheniem> (дата обращения: 26.02.2019).

19. Евтушенко, И.И. Совершенствование процесса гидрообеспыливания воздуха рабочих зон ленточных конвейеров на предприятиях стройиндустрии: дис. канд. тех. наук: 05.26.01 / Евтушенко Иван Иванович: Ростов-на-Дону.- 2010.-146 с.

20. Заболеваемость всего населения России в 2017 году / Статистические материалы. Часть II. М.: Министерство здравоохранения Российской Федерации, Департамент мониторинга, анализа и стратегического развития здравоохранения, ФГБУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения» Минздрава.- 2018.- С.5

21. Захаренков, В.В. Гигиеническое обоснование оценки профессионального риска работающих при добыче угля открытым способом /Захаренков В.В., Олещенко А.М., Михайлуц А.П. // ГУ НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний СО РАМН, Новокузнецк ГОУ ВПО Кемеровская государственная медицинская академия МЗ РФ: Бюллетень сибирского отделения Российской Академии Медицинских Наук. 2006. Том: 26 № 3.

22. Захаренков, В.В. Комплексная оценка риска для здоровья работающих при открытой добыче угля от воздействия физических факторов / Захаренков В.В., Олещенко А.М., Пананотти Е.А., Суржиков Д.В. // ГУ НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний СО РАМН (Новокузнецк): Бюллетень ВСНЦ СО РАМН, 2006.- №3 (49).

23. Иванов, А. В. Снижение аэрозольного загрязнения атмосферного воздуха от производственных объектов ОАО "Ковдорский ГОК" : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук :

специальность 25.00.36 / Иванов Андрей Владимирович ; [Нац. минерал.-сырьевой ун-т "Горный"]. - Санкт-Петербург, 2015. - 20 с.

24. Иванов В.В. Технология добычных работ на карьерах. Учебное пособие. СПб.,-2015.-80 с.

25. Измерение концентраций вредных веществ в воздухе рабочей зоны: Сборник методических указаний. Вып. 57.—М : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора,2016.-116с.

26. Интеграция современных научных исследований в развитие общества: сборник материалов III Международной научно-практической конференции (29 сентября 2017 года), Том II – Кемерово: ЗапСибНЦ, 2017 – 490 с.

27. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям ИТС 37-2017 "Добыча и обогащение угля" (утв. приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15 декабря 2017 г. N 2841).

28. Ильченкова, С.А. Снижение пылевыведения с пылящих поверхностей горно-металлургических производств / Ильченкова Светлана Александровна // Записки Горного института.-2003.-№1.-С.25-36.

29. Ищук, И.Г. Новые способы борьбы с пылью на угольных шахтах и перспективы их дальнейшего развития / Ищук, И.Г., Усков В.И. // Проблемы горного дела. М.: Недра, 1974.- с.89-97.

30. Ищук, И.Г. Руководство по борьбе с пылью и пылевзрывозащите на угольных и сланцевых разрезах / Ищук И.Г., Токмаков М.А., Пчелкин Ю.В., Купин А.Н. – Кемерово, 1992. – 59 с.

31. Калюжина, А.В. Исследования значений PM10 и PM2,5 в выбросах в атмосферу и рабочую зону при ремонтно-строительных работах / Калюжина А.В., Несветаев Г. В., Азаров В. Н. // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая.-2012.- № 1 (20). С.1-4.

32. Каменский, А.А. Исследования коагуляции пылевой фракции при применении аэропенного способа пылеподавления / Каменский Александр Андреевич // Записки Горного института. 2011. [Электронный ресурс]: URL

<https://cyberleninka.ru/article/n/issledovaniya-koagulyatsii-pylevoy-fraktsii-pri-primenении-aeropennogo-sposoba-pylepodavleniya> (дата обращения: 1.12.2018).

33. Ковшов, С.В. Обоснование параметров биогенного способа снижения аэротехногенного воздействия внешних отвалов на рабочее пространство карьеров строительных материалов: дис. ...канд. техн. наук: 05.26.01 / Ковшов Станислав Вячеславович. – СПб, 2010.- 165 с.

34. Ковшов, С.В. Безопасность жизнедеятельности [Текст]: учебное пособие / С. В. Ковшов, Е. Б. Гридина. - Санкт-Петербург : ЛЕМА, 2017. - 187 с.

35. Контуш, С.М. Применение лазерного счетчика частиц для измерения чистоты воздуха / Контуш С.М., Щекатолина С.А., Дыханов С.М. //Холодильная техника и технология.-2013- № 6 (146).

36. Корнев, А.В. Роль пылевого фактора в вопросах обеспечения промышленной безопасности и охраны труда на предприятиях угледобывающей отрасли / Корнев А.В., Корнева М.В., Сафина А.М. // Горный информационно-аналитический бюллетень: науч.-техн. журн.-2015.- № 11; Спец. вып. 60-2. -С.332-335.

37. Королев Н.В. Влияние пыли на окружающую среду [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://stroy-spravka.ru/article/vliyanie-pyli-na-okruzhayushchuyu-sredu> (дата обращения 03.02.17).

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

39. 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.

40. Коршунов, Г.И. Уменьшение аэротехногенного влияния автодорог на рабочие зоны угольного разреза / Коршунов Г.И., Сафина А.М. // Природные процессы в нефтегазовой отрасли. Geonature 2017 = Natural processes in oil and gas

field. Geonature 2017: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции / отв. ред. И. И. Нестеров. – Тюмень: ТИУ, 2017. 1. С.287-290.

41. Кошкаров, В.Е. Цикл статей: Пылеобразование на карьерных дорогах; Применение битумных эмульсий при строительстве карьерных дорог; Исследование физико-химических свойств и адгезионной активности нефтебитумов применяемых в производстве эмульсий / Кошкаров, В.Е., Валиев Н.Г., Фризен В.Г. и др.// Материалы Международной научно-технической конференции «Научные основы и практика переработки руд и техногенного сырья».– Екатеринбург: УГГУ, 2010.-С. 286-314.

42. Купин, А.Н. Разработка комплекса способов и средств снижения выбросов пыли в атмосферу угольных разрезов [Текст] : автореф.дис. на соиск. учен. степ. док. техн. наук: 05.26.01 / Купин Анатолий Никитович; – Министерство топлива и энергетики РФ Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт по добыче и полезных ископаемых открытым способом (НИИОГР). - Челябинск , 1995. -52 с.

43. Купин, А.Н. Методика оценки интенсивности выбросов пыли неорганизованными источниками угольных разрезов / Купин Анатолий Никифонович // НИИОГР.-Челябинск, 1995. - 8 с.

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

45. Курмазова, Н.А. Расчет интенсивности пылевыведения на угольном складе разреза «Восточный» Забайкальского края / Курмазова Н.А. // ГИАБ.-2015.-№6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-intensivnosti-pylevydeleniya-na-ugolnom-sklade-razreza-vostochnyy-zabaykalskogo-kрая> (дата обращения: 27.03.2019).

46. Кучеровский, В.В. Опыт биологического закрепления пылящей поверхности действующих хвостохранилищ / Кучеровский В.В., Мазур А.Е., Доценко А.Н // Горный журнал. 1989. - №7. - С. 56-57.
47. Лепешкин, С. М. Разработка комплекса методов прогноза и контроля качества атмосферы с целью управления пылегазовыми режимами карьеров : Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.т.н. : Спец. 05.26.01 / Лепешкин Сергей Михайлович: Моск. гос. гор. ун-т. - М., 1994. - 23 с.
48. Лукьянова, С.В. Геоэкологическое обоснование технологии фильтрационной очистки карьерных вод в массивах вскрышных пород: дис. ...канд. техн. наук: 25.00.16 / Лукьянова Светлана Юрьевна.-Кемерово, 2013. -115 с.
49. Мазурицкий, М.И. Методы рентгеновской спектроскопии и элементного анализа вещества: учеб. пособие / М.И.Мазурицкий, Ш.И. Дуймакаев, А.Я Шполянский. – Ростов н/Д: ЮФУ, 2015.- 116 с.
50. Маслов, Д.В. Состояние условий труда и профессиональной заболеваемости в угольной промышленности в Приморском крае / Маслов Д.В., Еремеева О.П., Соснина Н.А. // Здоровье. Медицинская экология. Социально-гигиенический мониторинг.- 2014 -№4(58).
51. Минко, В.А. Обеспыливание технологических процессов производства строительных материалов.- Воронеж: ВГУД981.-168 с.
52. Михайлов, В.А. Аэрология карьеров / Михайлов В.А., Ушаков К.З. //М.: Недра, 1975.-248 с.
53. МУК 4.1.2468-09 Измерение массовых концентраций пыли в воздухе рабочей зоны предприятий горнорудной и нерудной промышленности. Методические указания. Москва.-2009.
54. Назарова, Н.Ю. Обеспыливание прирельсовых ходов рудных концентратов / Назарова Н.Ю., Купин А.П.// Совершенствование технологии, перевозок угля и экономики открытой угледобычи при использовании железнодорожного транспорта: Сб. научн. тр/ УкрНИИпроект. Киев, - 1985. – С.46-51.

55. Обеспечение безопасности населения за счёт проведения исследований и профилактики для создания безопасных и здоровых условий труда для всех людей. Уменьшение запылённости при попадании пыли в воздух с дорог, мест хранения и открытых мест [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://miningwiki.ru/wiki/> (дата обращения: 16.06.2017).

56. Обеспыливание автомобильных дорог [Электронный ресурс] – Режимдоступа:URL:<http://www.unidorstroy.kiev.ua/articlesasphalting/obespylivaniye-dorog.html> (дата обращения 03.05.17).

57. Олещенко, А.М. Гигиенические основы оценки риска заболеваемости шахтеров угольных разрезов Кузбасса: дис. ...д. мед. наук: 17.00.07 / Олещенко Анатолий Михайлович. – Новокузнецк, 2004. – 239 с.

58. Омар, Тохитих Мохаммад Аль-Нхоуд Моделирование и разработка процессов локализации пневмокониозоопасной пыли и рациональных методов очистки вентиляционных выбросов: дис. ...канд. техн. наук: 05.23.03/ Омар Тохитих Мохаммад Аль-Нхоуд. – Воронеж, 2001. – 155 с.

59. Осодоев, М.Т. Проблемы пылеподавления на карьерах Севера / Осодоев М.Т., Бажедонов А.М., Купин А.П. – Караганда, 1982. – 158 с.

60. 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 Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – 6 с. : ил. – Текст : непосредственный.

61. Певзнер М.Е. Горная экология. - М.: Изд-во МГГУ, 2003.-395 с.

62. Петленко, С.В. Проблема обеспыливания грунтовых автомобильных дорог и оценка применения углеводородных эмульсий при их эксплуатации / С.В. Петленко, В.Е. Кошкаров // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО ГИПРОДОРНИИ. -2012.-№3.-С.105-113.

63. Петренко, К.В. Методы обработки и анализа спектрометрических данных при определении элементного состава вещества дис. ...канд. физ.-мат. наук: 01.04.01/ Петренко Константин Викторович – Барнаул., 2008. – 137 с.

64. Побережных Л.В. Анализ рынка: Добыча угля в России [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://moneymakerfactory.ru/biznes-plan/analiz-ryinka-uglya-rossii/> (дата обращения 29.03.18).

65. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 10 декабря 2012 г. N 580 н «Об утверждении Правил финансового обеспечения предупредительных мер по сокращению производственного травматизма и профессиональных заболеваний работников и санаторно-курортного лечения работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными производственными факторами».

66. Приказ Министерства труда и социальной защиты РФ от 24 января 2014 г. N 33н «Об утверждении Методики проведения специальной оценки условий труда, Классификатора вредных и (или) опасных производственных факторов, формы отчета о проведении специальной оценки условий труда и инструкции по ее заполнению».

67. Приказ Федеральной службы по труду и занятости от 10 ноября 2017 г. N 655 «Об утверждении проверочных листов (списков контрольных вопросов) для осуществления федерального государственного надзора за соблюдением трудового законодательства и иных нормативных правовых актов, содержащих нормы трудового права» (с изменениями и дополнениями).

68. Проект энергостратегии российской федерации на период до 2035 года [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1920> (дата обращения 29.03.19).

69. Проект горно-транспортной части отработки бурогоугольного месторождения разрез «Бородинский».-«УПР ОА Красноярскуголь», 2007.

70. Проектная документация «Строительство угледобывающего предприятия ООО «Разрез Аршановский» на участке Аршановский I Бейского каменноугольного месторождения в Республике Хакасия» Общество с ограниченной ответственностью «Сибгеопроект» 110-2012/П-Г-ПЗУ.

71. Просвирякова И.А. Методологические подходы к гигиенической оценке содержания мелкодисперсных твердых частиц в атмосферном воздухе //

Здоровье и окружающая среда: сборник научных трудов / под ред. С.И. Сычика. – Минск: РНМБ, 2015. - Т. 1, вып. 25. -С. 85-87.

72. Пчелкин, Ю.В. Комплекс средств борьбы с пылью на технологических автодорогах разрезов / Пчелкин Ю.В., Купин А.П., Токмаков М.А. // Борьба с силикозом: Сб.наун.тр./ М: Наука,-1982. - С.82-87.

73. Рапопорт, О.А. К вопросу о нормировании выбросов мелкодисперсных частиц размерами менее 10 мкм (PM10) и менее 2,5 мкм (PM2,5) / Рапопорт О.А., Копылов И.Д., Рудой Г.Н. // Экологический вестник России.- 2012.- №4.-С.56-61.

74. Романченко, С.Б. Комплексные исследования фракционного состава угольной пыли / Романченко Сергей Борисович // Горный информационно-аналитический бюллетень. Отдельный выпуск.- 2010. -№1.- С.129-142.

75. Россия в цифрах. 2018 : Крат. стат. сб. Росстат -М.,2018 -522с.

76. Сафина, А. М. Обоснование параметров снижения запыленности автодорог угольного разреза / А. М. Сафина // Глобальная энергетика: партнерство и устойчивое развитие стран и технологий: сборник научно-практической конференции в рамках Форума проектов программ Союзного государства – VI Форума вузов инженерно-технологического профиля, 24-28 октября 2017 г. -Минск : БНТУ, 2018. -С. 61-64.

77. Свод правил СП 312.1325800.2017 «Дороги внутрихозяйственные. Правила эксплуатации» (утв. приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 14 декабря 2017 г. N 1666/пр).

78. Солнцев, В.Б. Вопросы безопасности при скважинной добыче угля / Солнцев В.Б.// Безопасность труда в промышленности. -2003. -№ 2. - С. 27-29.

79. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности – М.: Недра, 1982.-240 с.

80. Сравнительный анализ дисперсного состава пыли в воздухе рабочей зоны непроизводственных помещений [Электронный ресурс] URL: <https://research-journal.org/technical/sravnitelnyj-analiz-dispersnogo-sostava-pyli-v-vozduxe-rabochej-zony-neproizvodstvennykh-pomeshhenij/> (дата обращения 20.12.2015).

81. Стародубов, А.Н. Проблемы пылеобразования и мероприятия по обеспечению безопасности и экологичности разработки угольных месторождений / Стародубов А.Н., Кравцов В.П., Зиновьев В.В. // Вестник КузГТУ.-2018.- №4(128).
82. Стенин, Ю. В. Карьерные автодороги – элемент открытых горных работ / Стенин Ю. В., Арефьев С.А., Ганиев Р. С. // Мир транспорта и технологических машин.- 2014. -№ 1 (44).- С. 55-61.
83. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2017 года / Таразанов И.Г. // Уголь. -2018.- № 3.- С. 36 – 50.
84. Тищенко, В. П. Дисперсные системы и загрязнение атмосферы и гидросферы : [монография] / В. П. Тищенко ; [науч. ред. Л. П. Майорова]. - Хабаровск : Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2017. - 204 с.
85. Токмаков, М.А. Борьба с пылью при работе роторных экскаваторов и автосамосвалов на разрезах / Токмаков М.А., Купин А.Н. // Серия «Технология добычи угля открытым способом» ЦНИЭИуголь, Москва, 1977. – 117 с.
86. Токмаков, М.А. Борьба с пылью на разрезах / Токмаков М.А., Пчелюш Ю.В., Купин А.Н. // Уголь.-1979.-№9.- С.42-45.
87. Торегельдин, М.М. Разработка способов и средств обеспыливания временных карьерных автодорог и отвалов : дис. ...канд. техн. наук: 05.26.02 / Торегельдин, Марат Макенович. – Караганда, 1986. – 237 с.
88. Федотенко В.С. Способ пылеподавления при взрывных работах: пат. РФ 2511326/В.С. Федотенко М.В. Струпалева, М.Г. Самарцев, С.М. Федотенко, Н.В. Елесина, С. Л. Джавальян // Бюл.№10 – 2014.
89. Фёдоров, А.В. Технология разработки Бородинского бурогоугольного месторождения при модернизации разреза / Фёдоров А.В. // ГИАБ. 2013. №2. [Электронный ресурс] URL:<https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologiya-razrabotki-borodinskogo-burougolnogo-mestorozhdeniya-pri-modernizatsii-razreza> (дата обращения: 19.05.2019).

90. Чемезов, Е. Н. Профессиональные заболевания в Республике Саха (Якутия) / Чемезов Е. Н., Черноградская Л. Ю. // Горный информационно – аналитический бюллетень.- 2009. - №12.- С.23-31.
91. Чемезов Е.Н., Делец Е.Г Меры снижения запыленности на открытых горных работах в условиях севера / Чемезов Е.Н., Делец Е.Г // Международный научный журнал «Символ науки».-2017.- № 01-2.-С.45-51.
92. Чулаков П.Ч. Теория и практика обеспыливания атмосферы карьеров. М.: «Недра», 1973. – 160 с.
93. Чулаков П.Ч. Охрана окружающей среды при эксплуатации месторождений. Алма-Ата.:КАЗПТИ, 1986.- 149 с.
94. Харебов, Г.В. Состояние экосферы при эксплуатации карьеров / Хаберов Г.В., Степанова С.В., Алборов И.Д./Колыма.-2003.-№4.-С.48-51.
95. Шадрина, Л.А. Клинико-диагностические и терапевтические аспекты пневмокониозов от воздействия фиброгенной минеральной пыли : автореф. дис. на соик. учен. степ. к.м.н./ Шадрина Лариса Анатольевна: [ГОУ ВПО «Пермская гос. мед. акад. Федерал. агенства»].- Пермь, 2005.-21 с.
96. Шувалов, Ю.В. Производственная безопасность: Учеб. пособие / Ю.В.Шувалов, С.Г.Гендлер, И.А.Павлов, М.М.Сметанин, В.В.Смирняков, Е.И.Домпальм, А.Н.Веденин, Н.А.Туча. СПб. -2005.- 152 с.
97. Энергетическая безопасность России. Новые подходы к развитию угольной промышленности: Труды международной научно-практической конференции – Кемерово: Сибирское отделение Российской академии наук, Кемеровский научный центр СО РАН, Институт угля СО РАН, Институт углехимии и химического материаловедения СО РАН, Кузбасский государственный технический университет, ООО КВК «Экспо-Сибирь», 2011-429 с.
98. Brown, Larry E. Reclamation of the Urad Molybdenum mine Empire / Brown, Larry E // Miner. And Environ. Colorado. -1984.- №5- PP. 33-37.

99. Hery, N.C Studis on the reclamation of tailing dam at Lawar Mines, Hery N.C., Fiagi U.L. // Asian Mining Pap. Conf. Manila, 11-14. Febr. London.- 1985.- PP. 65-70.
100. 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, – PP. 883 – 889.
101. Safina, A.M. Improving the Efficiency of Hydraulic Dust Control for the Improvement of Working Condition in Coal Mines // Scientific Reports on Resource Issues.-2016.-Volume 1: Efficiency and Sustainability in the Mineral Industry – Innovations in Geology, Mining, Processing, Economics, Safety, and Enviromental Management.-PP. 204-206.
102. Safina, A.M. 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, -PP.17-28.