

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

*На правах рукописи*

Каримов Артур Маратович



ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБОВ ПОДАВЛЕНИЯ РЕСПИРАБЕЛЬНОЙ  
ФРАКЦИИ ПЫЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА  
ГРАНИТНЫХ КАРЬЕРАХ

Специальность 2.10.3. Безопасность труда

Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

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

Санкт-Петербург – 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>4</b>
<b>ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОПЫТА ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА КАРЬЕРАХ .....</b>	<b>11</b>
1.1 Источники пылевыделения и пылеобразования .....	11
1.2 Аэротехногенное воздействие пыли на работников карьера .....	18
1.3 Анализ средств и способов борьбы с пылью .....	27
1.4 Основные направления совершенствования способов подавления респирабельной фракции пыли.....	34
1.5 Выводы по главе 1 .....	37
<b>ГЛАВА 2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ РЕСПИРАБЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ....</b>	<b>39</b>
2.1 Горно-геологические условия залегания и свойства гранитных пород карьера «Гавриловский» .....	39
2.2 Влияние параметров буровзрывных работ на гранулометрический состав пыли .....	42
2.3 Физические процессы измельчения горных пород при взрыве .....	50
2.4 Расчет гранулометрического состава пылевых частиц, образованных при производстве массового взрыва.....	53
2.5 Выводы по главе 2 .....	67
<b>ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕПОДАВЛЯЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА .....</b>	<b>68</b>
3.1 Натурные и лабораторные исследования гранулометрического состава пылевых частиц респирабельной фракции.....	68
3.2 Выбор поверхностно-активных веществ и лабораторные исследования их смачивающих свойств.....	74
3.3 Анализ пылеподавляющих свойств снега .....	81
3.4 Влияние мощности снежного покрова на массовую концентрацию респирабельной фракции пыли.....	85
3.5 Выводы по главе 3 .....	93
<b>ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОДАВЛЕНИЮ РЕСПИРАБЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ПЫЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ .....</b>	<b>94</b>

4.1 Прогнозирование гранулометрического состава респирабельной фракции пыли .....	94
4.2 Технологическая схема пылеподавления снежным покровом при отрицательных температурах.....	95
4.3 Технологическая схема производства и применения предложенного состава гидрозабойки при положительных температурах.....	100
4.4 Разработка рекомендаций по расчету пылевой нагрузки с учетом доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле.....	105
4.5 Техничко-экономическое обоснование предложенных решений и рекомендаций.....	111
4.6 Выводы по главе 4.....	114
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....</b>	<b>115</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>117</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт внедрения результатов диссертационной работы на производственном объекте.....</b>	<b>136</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Б Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ .....</b>	<b>138</b>

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность темы исследования**

В настоящее время около 70% всех полезных ископаемых в мире добывается открытым способом, который представляет собой ряд технологических процессов: буровзрывные работы, экскавация, отвалообразование, транспортирование и др. Каждый процесс сопровождается выделением пылевых частиц различных фракций, масса которых достигает 40-500 г на 1 м<sup>3</sup> горных пород. Значительная часть выделяемой пыли приходится на буровзрывные работы и достигает 1/3 от общего объема пылевыведения горнодобывающего предприятия.

Интенсификация всех технологических процессов и увеличение объемов добычи полезного ископаемого приводят к росту запыленности на рабочих местах и повышенному риску развития заболеваний органов дыхания, что является особенностью современного ведения открытых горных работ. При производстве массовых взрывов происходит многократное переизмельчение взрывающей породы и, как следствие, образование мельчайших частиц пыли респираторной фракции.

Респираторная фракция пыли размером частиц 10 мкм и менее является основным фактором развития легочных профессиональных заболеваний. Согласно данным Всемирной организации здравоохранения, влияние респираторной фракции пыли, как кратковременной, так и долговременной экспозиции, приводит к возникновению заболеваний респираторной и/или сердечно-сосудистой систем. Повышение среднесменной концентрации респираторной фракции пыли на 10% приводит к увеличению уровня общей заболеваемости на 17%, а заболеваемости органов дыхания на 26%.

В период с 2017 по 2022 год средний показатель профессиональной заболеваемости в Российской Федерации снизился с 1,31 заболевших на десять тысяч работающих до 1,00. На предприятиях по добыче полезных ископаемых этот показатель в настоящее время составляет 16,44. В 2017

году профессиональные заболевания органов дыхания работников карьеров и разрезов составили 14% от всех профессиональных заболеваний в отрасли, а доля приведших к временной нетрудоспособности составила 40,0%, к 2021 году это значение выросло до 42,3%. На гранитном карьере «Гавриловский» 40,4% работников подвергаются вредному воздействию пылевых аэрозолей, превышающему значения контрольной пылевой нагрузки, у 10,1% работников класс условий труда по воздействию аэрозолей преимущественно фиброгенного действия 3,2-3,3.

### **Степень разработанности темы исследования**

Значительный вклад в исследования процессов образования, распространения и подавления пыли при производстве массовых взрывов внесли: Адушкин В.В., Белин В.А., Бересневич П.В., Виноградов Ю.И., Воронина Л.Д., Дремова В.И., Замышляев Б.В., Ильченкова С.А., Кирина Б.Ф., Кобылкин А.С., Кобылкин С.С., Колесник В.Е., Кудряшов В.В., Лещинский А.В., Лидина Г.Д., Менжулин М.Г., Озерной И.П., Очиров В.С., Парамонов Г.П., Позднякова Г.А., Романченко С.Б., Сметанин М.М., Соболев В.В., Спивак А.А., Тихонова О.В., Цирель С.В., Шевкун Е.Б., Шувалов Ю.В., Юрченко А.А., Chen M., Hasegawa Y., Itahashi S., Mason R., Wang H., Zhang Y. и др. В этих исследованиях предложены методы прогнозирования выделения пыли и разработаны способы ее подавления в различных условиях. Однако, в работах недостаточно внимания уделено прогнозированию доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле, образующемся при производстве массовых взрывов. В этой связи разработка научно обоснованных способов снижения пылевой нагрузки на работников объектов ведения открытых горных работ и прогнозирование доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле, образующемся при производстве массовых взрывов, является актуальной задачей на гранитных карьерах.

**Объект исследования** - формирование пылевой нагрузки на работников гранитных карьеров.

**Предмет исследования** - смачивание и осаждение пылевых частиц респирабельной фракции на гранитных карьерах при производстве массовых взрывов.

### **Цель работы**

Снижение пылевой нагрузки на работников гранитных карьеров при производстве взрывных работ за счет повышения эффективности способов подавления респирабельной фракции пыли.

### **Идея работы**

Снижение пылевой нагрузки на работников гранитных карьеров достигается подавлением респирабельной фракции пыли за счет применения гидрозабойки скважин, в состав которой входят поверхностно-активные вещества, при положительных температурах воздуха и снежного покрова на взрываеом блоке при отрицательных температурах.

### **Задачи исследования**

Для достижения поставленной в диссертационной работе цели необходимо решить следующие задачи:

1. Анализ источников пылевыделения, механизма пылеобразования и статистики профессиональных заболеваний на горнодобывающих предприятиях, ведущих разработку месторождений открытым способом.
2. Изучение существующих методов прогнозирования гранулометрического состава пыли при производстве массовых взрывов, средств и способов обеспыливания воздуха на отечественных и зарубежных горнодобывающих предприятиях.
3. Натурные исследования влияния взрывных работ на массовую концентрацию респирабельной фракции пыли в атмосфере горнодобывающего предприятия.
4. Разработка методики прогнозирования гранулометрического состава респирабельной фракции пыли при производстве массовых взрывов.
5. Разработка состава смачивателя для подавления респирабельной фракции гранитной пыли пород карьера «Гавриловский».

6. Разработка мероприятий по борьбе с респирабельной фракцией пыли при производстве массовых взрывов на гранитных карьерах.

### **Научная новизна исследования**

1. Установлена зависимость времени смачивания частиц гранитной пыли, образующихся при производстве массовых взрывов, от состава и концентрации поверхностно-активных веществ в составе гидрозабойки.

2. Установлена зависимость снижения выхода респирабельной фракции пыли при производстве массового взрыва от мощности снежного покрова на взрываемом блоке.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

1. Установлены зависимости времени смачивания гранитной пыли от концентрации поверхностно-активных веществ и массовой концентрации респирабельной фракции пыли, выделяемой при производстве массовых взрывов, от мощности снежного покрова.

2. Разработан состав гидрозабойки с добавлением поверхностно-активных веществ каприлил/каприл глюкозида и кокоамфодиацетата натрия.

3. Разработана технологическая схема производства предлагаемой гидрозабойки и ее применения в скважинах при проведении буровзрывных работ.

4. Разработана технология применения снежного покрова на взрываемом блоке при производстве массовых взрывов.

5. Разработана программа, позволяющая прогнозировать гранулометрический состав частиц пыли, выделяемых в результате массового взрыва на основе функции распределения. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022663908 «Программа для определения гранулометрического и дисперсного состава частиц образованных в результате массового взрыва» от 21.07.2022 г (Приложение Б).

6. Результаты и рекомендации диссертационного исследования приняты к использованию для планирования мероприятий по подавлению

пыли при производстве массовых взрывов (акт об использовании результатов от 09.04.2024 г., Приложение А).

### **Методология и методы исследования**

Анализ литературных источников и патентный поиск по вопросам борьбы с пылью при производстве массовых взрывов на карьерах.

Теоретическое исследование законов распределения частиц для прогнозирования гранулометрического состава пыли и доли респираторной фракции, образующейся при производстве массовых взрывов.

Натурные и лабораторные исследования параметров воздушной среды по пылевому фактору с использованием счетчика частиц «СЕМ DT-9880» и анализатора размеров частиц «Camsizer XT».

Лабораторные исследования смачивающей способности поверхностно-активных веществ методом пленочной флотации.

### **Основные научные положения, выносимые на защиту**

1. Подавление респираторной фракции пыли при производстве массовых взрывов достигается применением гидрозабойки, в состав которой входят поверхностно-активные вещества, выбираемые с учетом времени смачивания пылевых частиц взрывающей породы.

2. Для подавления респираторной фракции пыли, образующейся в результате производства массовых взрывов при отрицательных температурах, следует формировать снегоочистителями или снегогенераторами снежный покров на взрывающей блоке, мощностью, прямо пропорциональной массовой концентрации выделяемой респираторной фракции пыли.

3. Прогнозирование гранулометрического состава и доли респираторной фракции в пылевом аэрозоле предлагается проводить по методике, учитывающей параметры буровзрывных работ и физико-механические свойства взрывающей породы.

**Степень достоверности результатов исследования** подтверждается значительным объемом теоретических, натурных и лабораторных

исследований при достаточно точной сходимости результатов. В работе применялись современные методики и оборудование для анализа количества частиц респирабельной фракции, а также исследования времени смачивания частиц гранитной пыли и прогнозирования гранулометрического состава респирабельной фракции пыли при производстве массовых взрывов. Имеется положительный опыт применения разработанных способов пылеподавления и рекомендаций на карьере «Гавриловский» предприятия АО «Гавриловское карьероуправление».

### **Апробация результатов**

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на XVI Всероссийской научно-практической конференции «Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения» (Санкт-Петербургский медико-социальный институт, Санкт-Петербург, 2021), XVI Всероссийской молодежной научно-практической конференции «Проблемы недропользования» (Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук, Екатеринбург, 2022), V Международной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности» (Санкт-Петербургский институт природопользования, промышленной безопасности и охраны окружающей среды, Санкт-Петербург, 2022).

**Личный вклад автора** заключается в анализе уровня профессиональных заболеваний, вызванных воздействием пылевых аэрозолей на работников горнодобывающих предприятий, и мирового опыта борьбы с пылью при производстве массовых взрывов, выборе методики исследований, проведении теоретических исследований образования пыли различной фракции при производстве массовых взрывов, лабораторных исследований смачивающей способности поверхностно-активных веществ и натуральных исследований массовой концентрации респирабельной фракции пыли, разработке способов снижения пылевой нагрузки на органы дыхания

работников карьера «Гавриловский», обработке и анализе полученных результатов, формулировании основных научных положений и выводов.

### **Публикации**

Результаты диссертационного исследования в достаточной степени освещены в 7 печатных работах (пункты списка литературы № 52, 53, 54, 55, 57, 129, 130), в том числе в 3 статьях – в изданиях из перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (далее Перечень ВАК), в 2 статьях – в изданиях, входящих в международные базы данных и систему цитирования Scopus. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ (Приложение Б).

**Структура работы.** Диссертация состоит из оглавления, введения, четырех глав с выводами, заключения, списка литературы, включающего 133 наименования. Работа изложена на 139 страницах машинописного текста, содержит 43 рисунка, 42 таблиц и 2 приложения.

## **ГЛАВА 1 АНАЛИЗ ОПЫТА ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ НА КАРЬЕРАХ**

### **1.1 Источники пылевыведения и пылеобразования**

Открытые горные работы являются основным способом добычи полезных ископаемых, их доля превышает 70% от общего объема добычи. Сегодня данный способ применяется для добычи около 90% железных руд, примерно 75% цветных металлов и угля, а также более 80% химического сырья. Кроме того, открытые горные работы позволяют обеспечить практически весь объем материалов, используемых в строительстве.

В настоящее время существуют карьеры и разрезы глубиной более 400 м, и есть тенденция к ее увеличению [6]. Экономическая целесообразность увеличения глубины добычи полезных ископаемых на карьерах и разрезах объясняется улучшением характеристик применяемого оборудования. Применение более мощного оборудования ведет к увеличению концентрации пыли и выделению вредных газов, что негативно сказывается на воздухообмене и вентиляции. Естественное проветривание становится малоэффективным на глубинах свыше 200-250 метров, что требует применения специальных инженерно-технических решений для проветривания карьера [28,68].

Пылевые аэрозоли, как природного, так и антропогенного происхождения, оказывают серьезное воздействие на работников горнодобывающих предприятий, последующий ветровой перенос частиц пыли за пределы объекта ведения горных работ оказывает влияние на загрязнение окружающей среды [93]. Высокая концентрация пылевых частиц в атмосферном воздухе причиняет вред, как людям, так и экосистемам, включая леса и сельское хозяйство.

Промышленная пыль является сложной системой, которая включает в себя витающие дисперсные твердые частицы (аэрозоли) и осевшие на поверхности (аэрогели) [107]. Классифицировать происхождение этих частиц сложно, поскольку химическая природа их сильно отличается [79,128]. На

состав пыли влияют физико-химические и физико-механические свойства породы, а также производственные процессы, при которых она образуется, пыль может содержать различные вещества в своем составе [14,102].

Классификация пылевых частиц зависит от их диаметра и представлена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Классификация пылевых частиц по размеру

Классификация по размеру частиц	Размер частиц	Особенности
Крупная	100 мкм и более	легко выпадают при невысокой скорости воздушного потока, в атмосферном воздухе практически отсутствуют
Мелкая	10-100 мкм	оседают с постоянной скоростью и удерживаются в воздухе даже при незначительной скорости воздушного потока
Тонкая (туманы)	0,1-10 мкм	легко удерживаются в воздухе, трудно оседают, даже при отсутствии движения воздуха
Весьма тонкая (дымы)	менее 0,1 мкм	находятся в броуновском движении, не оседают
Респирабельная фракция	до 10 мкм	частицы пыли способные проникать в дыхательные пути

По вредоносному воздействию на организм человека выделяют респирабельную фракцию пыли с размером частиц до 10 мкм. Частицы пыли респирабельной фракции проникают в дыхательные пути, оседают в бронхах и легких [27].

Открытые горные работы включают ряд технологических процессов:

- бурение (рисунок 1.1);
- производство массовых взрывов (рисунок 1.2);
- экскавацию (рисунок 1.3);
- отвалообразование (рисунок 1.4);

- транспортирование (рисунок 1.5).

Каждый процесс сопровождается выделением пылевых частиц различных фракций, масса которых достигает 40-500 г на 1 м<sup>3</sup> горных пород [117].



Рисунок 1.1 – Бурение взрывных скважин



Рисунок 1.2 – Производство массовых взрывов



Рисунок 1.3 – Выемочно-погрузочные работы



Рисунок 1.4 – Бульдозерное отвалообразование



Рисунок 1.5 – Транспортирование горной массы

На рисунке 1.6 изображено процентное распределение выбросов пыли в атмосферу карьера от технологических процессов [124].

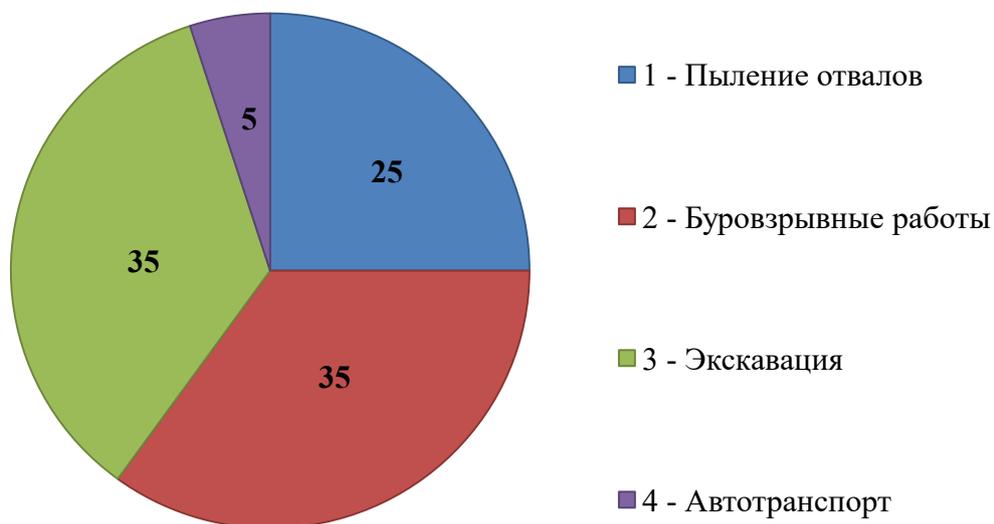


Рисунок 1.6 – Структура процентного распределения выбросов пыли по различным технологическим процессам

Более трети всей выделяемой карьером пыли приходится на буровзрывные работы. Процесс экскавации взорванной горной массы не

измельчает породу на мельчайшие частицы пыли, но повторно взметывает образующиеся при других технологических процессах.

Пылегазовое облако (далее ПГО), образующееся в результате производства массового взрыва, влияет на степень загрязнения воздушной среды карьера и близлежащих территорий. Необходимо отметить, что ведение погрузочно-разгрузочных работ представляет собой распределенный во времени процесс, в отличие от буровзрывных работ (далее БВР) [82].

Вид взрывчатого вещества (далее ВВ), его количество в взрываемой скважине и расстояние от взрываемого блока влияют на массу осевших пылевых частиц образующихся при ведении взрывных работ (таблица 1.2) [75].

Таблица 1.2 – Масса осевших пылевых частиц после производства взрыва по направлению движения пылегазового облака

Масса ВВ (130 т)						
Расстояние от блока, м	50	100	250	500	800	1200
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	670	312	66	31,8	16,7	4,0
Масса ВВ (76 т)						
Расстояние от блока, м	50	100	200	300	400	600
Поверхностная плотность, г/м <sup>2</sup>	310	160	41	30,6	28,0	26,4

В стандартной модели загрязнения окружающей среды путем выделения пылевых частиц с промышленных объектов можно выделить четыре механизма: осаждение частиц под действием гравитационных сил, распространение частиц через турбулентные потоки, перенос частиц ветром и их повторное взметывание в атмосферу [83].

Процесс турбулентного переноса и повторного взметывания осевших пылевых частиц хорошо изучен теоретически. Фактические эксперименты в

этой области проводить очень сложно, поскольку движение потока воздуха разнонаправлено и отделить пыль, осевшую из ПГО, практически не представляется возможным.

Частицы пыли образованные при производстве массовых взрывов с течением времени оседают, однако мельчайшие частицы респираторной фракции могут повторно взметываться даже при незначительной скорости ветра.

По формуле (1.1) вычисляется скорость потока воздуха для взметывания пыли [5]:

$$U = 6 \cdot \sqrt{\rho_n D^{0,7}}, \quad (1.1)$$

где  $\rho_n$  – плотность частиц пыли, кг/м<sup>3</sup>;

$D$  – диаметр частицы пыли, мкм.

Помимо технологических процессов, на пылеобразование влияет климат и температура воздуха. Согласно результатам исследований [60], было выявлено, что в районах с умеренным и теплым климатом уровень запыленности воздуха заметно ниже по сравнению с районами, где климат холодный или жаркий. Более того, если в холодных районах запыленность в зимний период повышается, то в жарких районах она выше в летний период, нежели в зимний [92]. Подобное явление объясняется тем, что в первом случае происходит интенсивное образование льда, а во втором интенсивное испарение влаги.

В районах с ярко выраженным континентальным климатом, с жарким и сухим летом, а также холодной зимой без снега наблюдается особенно неблагоприятная пылевая обстановка. Согласно отчету Института Горного Дела в АН Казахской ССР, при добыче полезных ископаемых в карьерах, расположенных в Центральном Казахстане, где климат является резко континентальным, концентрация пыли в воздухе превышает в 3-3,3 раза аналогичные значения для зоны континентального климата, например Рудный Алтай [80].

БВР являются одним из основных источников пылевыведения, на них приходится более 1/3 всего объема выделяемой пыли при ведении открытых горных работ. Для снижения общего уровня запыленности на горнодобывающих предприятиях и прилегающих к ним территориям необходимо разрабатывать и применять способы подавления пыли при производстве массовых взрывов.

## **1.2 Аэротехногенное воздействие пыли на работников карьеров**

Охрана труда работников горнодобывающих предприятий является важной и сложной задачей. Неблагоприятные условия работы на горнодобывающем предприятии оказывают негативное воздействие на здоровье работников, вызывая различные профессиональные заболевания (далее ПЗ). Пыль вредна как для работников горнодобывающих предприятий, так и для окружающей среды [8]. Мельчайшие фракции загрязняют атмосферу горнодобывающего предприятия и ближайших районов.

По данным Росстата, в Российской Федерации на предприятиях с вредными и (или) опасными условиями труда в 2021 году было занято 36,4% или 4,7 миллиона рабочих от списочной численности работников по проверенным организациям [26]. Профессиональные заболевания не равномерно распределяется по различным отраслям, ниже приводятся данные Роспотребнадзора за 2022 год:

1. На горнодобывающих предприятиях было зафиксировано 40,32% всех впервые приобретенных профессиональных заболеваний в 2022 году, что незначительно превышает показатель 2021 года в 39,4%;
2. На обрабатывающих производствах этот показатель составил 28,44%.;
3. В области здравоохранения и социальных услуг этот показатель составил 14,63%.;
4. На предприятиях по транспортировке и хранению данный показатель составил 9,71% .

Опираясь на вышесказанное, можно сделать вывод, что существует высокая вероятность развития профессиональных заболеваний среди работников горнодобывающих предприятий (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Показатели профессиональной заболеваемости по видам экономической деятельности за 2018-2022 г. в Российской Федерации (на 10 тыс. работающих)

Виды экономической деятельности	2018	2019	2020	2021	2022
Российская Федерация	1,17	1,03	0,78	1,09	1,00
Добыча полезных ископаемых	25,01	21,15	15,2	18,36	16,44
Обрабатывающие производства	2,16	2,18	1,38	1,57	1,83
Транспортировка и хранение»	1,69	1,66	1,06	1,08	1,27
Деятельность в области здравоохранения и социальных услуг	0,27	0,27	1,9	3,00	1,52

В период с 2017 по 2022 год средний показатель профессиональной заболеваемости в Российской Федерации снизился с 1,31 заболевших на десять тысяч работающих до 1,00. На горнодобывающих предприятиях этот показатель в 2022 году составлял 16,44, что превышает общероссийский показатель в 16 раз [120]. Сведения о частоте профессиональных заболеваний возникающих у работников карьеров и разрезов представлены в таблице 1.4.

Таблица 1.4 – Статистика профессиональных заболеваний работников карьеров и разрезов за 2015-2020 года на 10 тыс. прошедших медосмотр

Показатели	Годы					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Общий показатель профессиональных заболеваний по всем формам патологии	31,43	29,89	26,87	25,01	21,15	18,36
Профессиональные заболевания пылевой этиологии на карьерах и разрезах	5	1,8	2,9	3,4	3,2	3,6
Средний показатель заболеваемости по стране	1,65	1,47	1,31	1,17	1,03	0,78

В 2015 году профессиональные заболевания органов дыхания работников карьеров и разрезов составили 15,9% от всех профессиональных заболеваний в отрасли, при снижении общероссийского показателя профессиональной заболеваемости и общего показателя профессиональных заболеваний по всем формам патологии на карьерах и разрезах, доля заболеваний пылевой этиологии не уменьшается и в 2020 году составила 19,6%.

Анализ профессиональных заболеваний на горнодобывающих предприятиях, ведущих добычу полезных ископаемых открытым способом, за 2017 год показал, что больше всего распространены заболевания органов дыхания, слуха, костно-мышечной системы и вибрационная болезнь [77,119]. Результаты исследования приведены на рисунке 1.7 и отражают процентное распределение профессиональных заболеваний.

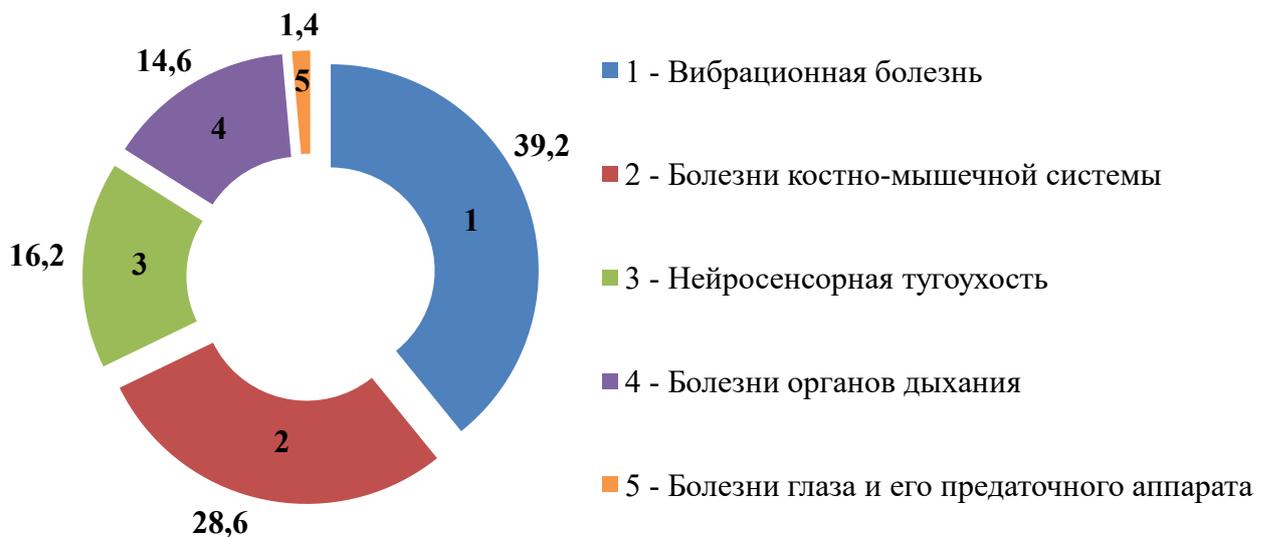


Рисунок 1.7 – Процентное распределение профессиональных заболеваний работников горнодобывающих предприятий, ведущих разработку открытым способом

На предприятиях, осуществляющих добычу полезных ископаемых, в 2021 году Росстатом было проанализировано 824 тысячи рабочих мест, среди которых превышение предельно допустимых значений воздействия аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (далее АПФД) выявлено на 6,94% или 57,2 тысячах рабочих мест [89]. Ниже представлено процентное

распределение вредных факторов на проанализированных рабочих местах (рисунок 1.8) [89].

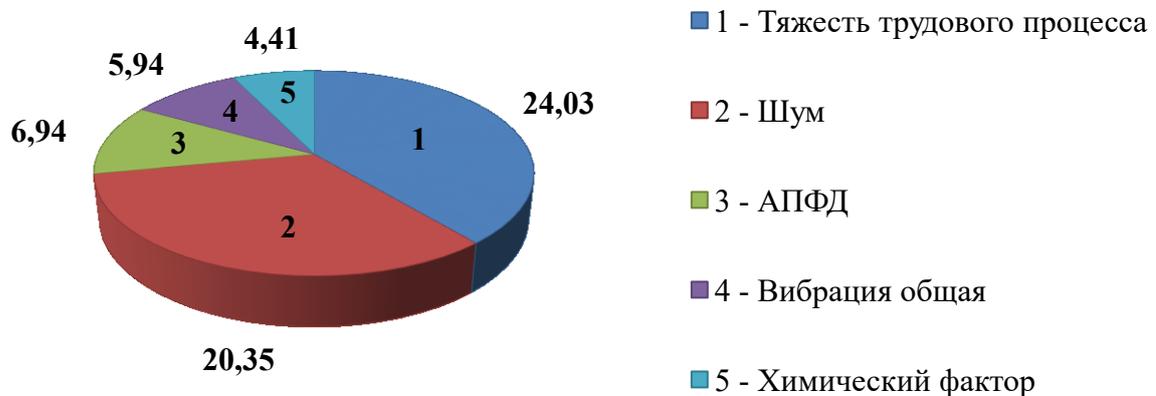


Рисунок 1.8 – Процентное распределение вредных факторов на рабочих местах работников предприятий по добыче полезных ископаемых

Значительной проблемой горнодобывающих предприятий является временная нетрудоспособность работников, заболевания из-за которых работники вынуждены пропускать рабочие смены, эти заболевания могут перерасти в хронические профессиональные заболевания [121]. Главная причина временной нетрудоспособности в 2021 году заболевания органов дыхания (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – Процентное распределение травм и заболеваний, приведших к временной нетрудоспособности работников предприятий по добыче полезных ископаемых

В 2017 году доля заболеваний органов дыхания приведших к временной нетрудоспособности составила 40,0%, а к 2021 году это значение выросло до 42,3%.

Доля респирабельной фракции в пылевом аэрозоле оказывает существенное влияние на формирование пылевой нагрузки (далее ПН) на органы дыхания работников горнодобывающих предприятий, увеличение массовой концентрации респирабельной фракции пыли в воздухе рабочей зоны может привести к серьезным последствиям для здоровья человека. При вдыхании, частицы пыли  $PM_{10}$  способны проникать глубоко в легкие и оседать в альвеолах, вызывая воспаление органов дыхания, что приводит к развитию различных респираторных заболеваний, таких как бронхит, пневмокониозы и астма. Даже незначительное увеличение концентрации респирабельной фракции пыли в воздухе рабочей зоны, на 10%, может существенно увеличить риск заболеваний дыхательной системы на 26% [103].

Воздействие пылевого аэрозоля на работников горнодобывающих предприятий помимо доли респирабельной фракции зависит от химического состава пылевых частиц. В состав пыли могут входить различные вещества, которые усиливают ее вредное воздействие на организм. При попадании в организм частицы пыли накапливаются и могут способствовать развитию хронических заболеваний. Концентрация диоксида кремния в воздухе на горнодобывающих предприятиях может колебаться от 20 до 70%. Отрицательное воздействие на окружающую среду помимо пыли также оказывают газообразные продукты взрыва, такие как монооксид углерода и различные оксиды азота, которые также оказывают негативное влияние на организм человека [114]. В ПГО высокая концентрация вредных газов, монооксид углерода 0,03-0,04%, оксиды азота - до 0,007%, а концентрация пыли около 2000 мг/м<sup>3</sup> [83,88].

Отсутствие единой системы измерения концентрации пыли в воздухе рабочей зоне создает определенные сложности при оценке аэротехногенного

воздействия пылегазового облака на работников горнодобывающих предприятий. Каждая страна разрабатывает свои нормативы, это позволяет определить потенциальные риски для здоровья работников и разработать соответствующие меры для борьбы с пылью [122].

В разных странах требования к параметрам воздуха рабочей зоны отличаются. Это связано с особенностями производства и химическим составом образуемой пыли. Сравнение нормативов качества воздуха в различных странах приведено в таблице 1.5 [51].

Таблица 1.5 – Предельно допустимые концентрации пыли в каменноугольной промышленности Евросоюза, Австралии, Великобритании, США и России

Страны	Концентрация, мкг/м <sup>3</sup>	
	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>
Великобритания	50	25
США	150	15
Австралия	50	25
ЕС	40	25
РФ	-	-

В Российской Федерации значительное внимание уделяется экологической безопасности и регулированию выбросов в атмосферу. В соответствии с законодательством, органы экологического регулирования имеют исключительную компетенцию в контроле и учете выбросов частиц пыли респираторной фракции. Это означает, что только они могут проводить мониторинг и проверку в отношении предприятий и организаций на соответствие установленным нормам и требованиям. Главным руководством в данной области является дополнение №8 к нормативу «Предельно допустимые концентрации (далее ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест» [18,21]. В этом документе определены среднегодовые, среднесуточные и максимально разовые допустимые концентрации (таблица 1.6).

Таблица 1.6 – ПДК взвешенных частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$ ,  $mg/m^3$ 

Наименование вещества	Величина ПДК, $mg/m^3$		
	Максимально разовая ПДК	Среднесуточная ПДК	Среднегодовая ПДК
Взвешенные фракции частицы $PM_{2,5}$	0,16	0,035	0,025
Взвешенные фракции частицы $PM_{10}$	0,3	0,06	0,04

ПДК воздуха рабочей зоны для кремнийсодержащей пыли колеблется в диапазоне 1-10  $mg/m^3$ , такой разброс обуславливается различной долей содержания диоксида кремния в составе пыли, данные значения используются для определения класса (подкласса) специальной оценки условий труда (далее СОУТ) [22,85].

На сегодняшний день при проведении СОУТ класс (подкласс) условий труда по воздействию АПФД определяется в зависимости от массовой концентрации взвешенной фракции пыли с диаметром частиц 0,5-74 мкм. Доля респирабельной фракции пыли в пылевом аэрозоле не учитывается, что не позволяет корректно оценить воздействие пылевого аэрозоля на работников горнодобывающих предприятий.

На карьерах и разрезах не все работники находятся в защищенных кабинах специальной техники, главный инженер, начальник службы БВР, начальник горного участка, горный мастер, механик горного участка часть своей смены проводят в неблагоприятной среде непосредственно на открытом воздухе. На предприятиях АО «Гавриловское карьероуправление», ОА «СУЭК-Кузбасс» «Разрез заречный», АО «Воркутауголь» разрез «Юнъягинский» вышеперечисленные специальности имеют класс условий труда по аэрозолям преимущественно фиброгенного действия 3.1 и выше.

Согласно данным Всемирной организации здравоохранения (далее ВОЗ), респираторная фракция пыли оказывает как краткосрочное, в течение нескольких часов или дней, так и долгосрочное, в течение нескольких месяцев или лет, негативное воздействие. К болезням органов дыхания, таких как пылевой бронхит, пневмония, рак легких и др., приводит именно длительное вдыхание пыли респираторной фракции. Мельчайшие частицы пыли размером менее 2,5 мкм подвергают негативному воздействию также и сердечно-сосудистую систему. Профессиональные заболевания приводят к увеличению числа госпитализаций и смертей [96]. Поэтому для профилактики профессиональных заболеваний у работников горнодобывающих предприятий необходимо принимать меры не только в области разработки новых способов подавления пыли при ведении различных технологических процессов добычи полезных ископаемых, но и в санитарно-гигиенической сфере, чтобы противодействовать вредному воздействию производственной пыли.

Все методы борьбы с воздействием частиц пыли респираторной фракции на организм человека подразделяются на три категории [52].

1) Защита временем является важным аспектом промышленной безопасности и здоровья работников. Введение регулярных перерывов, сокращение рабочего дня и изменение продолжительности отпуска – это эффективные меры для снижения негативного воздействия на здоровье работников.

2) Использование средств индивидуальной защиты. Включает в себя применение масок, респираторов и других средств, предназначенных для фильтрации и задержки частиц пыли, вдыхаемых человеком.

3) Лечебно-профилактические мероприятия. Включают в себя применение мер, направленных на укрепление здоровья работников и предупреждение возможных патологических последствий, связанных с воздействием пылевых аэрозолей на организм.

Таким образом, для борьбы с воздействием респирабельной фракции пыли существуют три подхода: защита временем, применение индивидуальных средств защиты органов дыхания (далее СИЗОД) и проведение лечебно-профилактических мероприятий. Каждый из этих подходов является неотъемлемым и важным элементом обеспечения безопасности для поддержания здоровья работников [15].

Чаще всего для защиты органов дыхания работников горнодобывающих предприятий от воздействия пыли используют респиратор «Лепесток», однако такой респиратор эффективен только против частиц размером 3 мкм и более. Частицы пыли размером менее 3 мкм проникают через фильтр этих защитных средств. Таким образом, респиратор «Лепесток» не эффективен против мельчайших частиц пыли с диаметром менее 3 мкм. При выборе СИЗОД также необходимо учитывать тип выполняемых работ и их сложность. Обоснованный выбор СИЗОД под наиболее вредную фракцию выделяемой пыли и их правильное использование формируют одно из ключевых средств по предотвращению профессиональных заболеваний органов дыхания среди работников горнодобывающих предприятий [54].

Также внимание следует уделить комплексным мерам лечебно-профилактического характера, в рамках которых требуется поддерживать контроль над состоянием и здоровьем работников. Систематический медицинский осмотр является обязательным, поскольку позволяет выявить развитие профессиональных заболеваний на начальном этапе. Кроме того, регулярная проверка состояния здоровья сотрудников проводится ежегодно в рамках обязательных периодических медицинских осмотров, которые зависят от характера производства и состава пыли. Работники с опытом работы более 5 лет также обязаны проходить расширенный медицинский осмотр в стационарных условиях [10].

Улучшение реактивности организма и защита легких от пыли - вот две главные цели медико-профилактических мероприятий. Среди всех доступных мероприятий ультрафиолетовое облучение в фотариях особенно

важно, так как эта процедура препятствует склеротическим процессам легочной ткани, что делает ее незаменимой для предотвращения профессиональных заболеваний органов дыхания. Кроме этого, применение антиперекисных и антиоксидантных препаратов, диета с добавлением метионина и витаминов также является значимой составляющей эффективного подхода к повышению защиты организма. Все это должно сопровождаться активной пропагандой здорового образа жизни, особенно в контексте предупреждения заболеваний дыхательной системы. Этой проблеме следует уделять особое внимание.

### **1.3 Анализ средств и способов борьбы с пылью**

В борьбе с пылью можно выделить два направления. Первое заключается в разработке и применении способов снижения выделения пыли при проведении различных технологических процессов [130,131]. Второе направление представляет собой защиту работников от негативного воздействия респирабельной фракции пыли путем использования различных медико-профилактических мероприятий и индивидуальных средств защиты [53].

К первому направлению подавления пыли при производстве массовых взрывов относятся три подхода:

- 1) Предупреждение пылеобразования;
- 2) Обеспыливание;
- 3) Пылеподавление.

Для предотвращения пылеобразования следует изменять параметры БВР и конструкцию заряда, использовать ВВ меньшей мощности, уменьшить массу ВВ в скважине, сократить количество скважин на взрываемом участке, уменьшить диаметр скважины (рисунок 1.10). Снижение образования пыли при производстве массовых взрывов особенно важный элемент борьбы с пылевыми аэрозолями. Если принять все необходимые меры для снижения пылевыведения, последующие этапы подавления пыли будут более эффективными [126]. Необходимо учитывать, что изменение параметров

БВР, в свою очередь, приводит к изменению качества дробления горной массы.

Обеспыливание или пылеулавливание при ведении горных работ открытым способом не так эффективно, как при подземном способе разработки.



Рисунок 1.10 – Сквaziна на взрываеом блоке

Количество выделяемой пыли и вредных газов зависит не только от мощности горного оборудования, но и от климатических и горно-геологических условий [58,91]. Сухой континентальный, создает условия для увеличения поступления пыли в атмосферу, ситуацию еще более усугубляют сильные ветра, которые приводят к перемещению пыли значительные расстояния [16,66]. В летний период времени при производстве массовых взрывов (рисунок 1.11) проблемы с запыленностью горнодобывающих предприятий обстоят особенно остро, осажденные частицы пыли высыхают и повторно взметываются (рисунок 1.12), на проветривание после производства массового взрыва приходится затрачивать больше времени (рисунок 1.13) [39].



Рисунок 1.11 – Взрываемый блок в период положительных температур



Рисунок 1.12 – Пылевая обстановка после проведения массового взрыва в период положительных температур



Рисунок 1.13 – Развал взорванной горной массы в период положительных температур

Для сокращения выбросов пыли при производстве массовых взрывов и дальнейшего ее подавления при положительных температурах воздуха применяют:

- 1) гидрозабойку, при необходимости с различными добавками;
- 2) орошение взрываемого блока с применением оросительных машин или туманогенераторов;
- 3) воздушно-механической пены в составе забоечного материала;
- 4) забойку из отсева дробильно-сортировочной фабрики;
- 5) удаление бурового шлама с взрываемого блока.

Кроме указанных выше способов борьбы с пылью, существует множество менее распространенных. Например, нанесение на взрываемый блок пены или подавление пыли с помощью водовоздушных струй вентиляторов [104]. Еще одним способом является активное пылеподавление, которое основано на использовании ударно-воздушных волн, создаваемых встречным взрывом, для введения пылеподавляющих реагентов в столб

пылегазовой смеси [41]. Однако на сегодняшний день этот способ имеет статус экспериментального и не применяется, что во многом связано со сложностью учета взаимодействия воздушных волн. Эффективно подавляет пыль гидроорошение пылегазового облака с применением вертолётов, однако на практике применение данного способа зачастую оказывается экономически нецелесообразно [57,70].

В таблице 1.7 показано, на какие из двух параметров образования ПГО воздействуют различные способы борьбы с пылью при положительных температурах.

Таблица 1.7 – Сравнительная характеристика способов и средств подавления пыли при производстве массовых взрывов в период положительных температур

Наименование мероприятия	Обеспечивает снижение	
	высоты подъема ПГО	объемов выброса пыли
Удаление бурового шлама из зоны взрыва или его цементация	+	+
Гидрозабойка скважин	+	+
Взрывание обычных и высоких уступов в этажной среде	+	+
Снижение диаметра скважин	+	+
Двухстороннее инициирование скважинных зарядов	+	+
Использование гидрогелевой забойки	+	+
Использование воздушно-механической пены	-	+
Забойка из отсева дробильно-сортировочной фабрики	+	+
Орошение зоны взрывания или пропитка забойки жидкостью с применением поверхностно-активных веществ	+	+
Применение мощных дождевальных установок	-	+
Применение средств активного пылеподавления, в т.ч. конверсионной техники	+	+

Добыча полезных ископаемых при отрицательных температурах подразумевает особые условия работы, холодный микроклимат сопровождается дополнительной тяжестью труда, а также повышенным риском травматизма. Низкие температуры также усложняют процесс подавления пыли особенно водными растворами, на форсунках для орошения пылеподавляющих растворов образуется наледь, препятствующая выходу жидкости. При отрицательных температурах воздуха водные растворы менее эффективны для подавления пыли, поскольку возникает необходимость применения компонентов, снижающих температуру замерзания растворов. При положительных температурах воздуха коагуляция пыли с водными растворами на 40% выше, чем при отрицательных температурах, это объясняется тем, что при замерзании вода не может вступать в полноценный контакт с частицами пыли [30]. Эффективное подавление пыли необходимо для обеспечения безопасной и непрерывной работы горнодобывающего предприятия.

Однако при отрицательных температурах атмосферного воздуха (рисунок 1.14) количество выделяющейся пыли меньше, и она быстрее оседает, чем при положительных температурах воздуха, что может объясняться наличием естественного снежного покрова на взрываемом блоке (рисунок 1.15). Применение при отрицательных температурах тех же способов пылеподавления, что и при положительных, не дают той же эффективности [55].



Рисунок 1.14 – Взрываемый блок в период отрицательных температур



Рисунок 1.15 – Развал взорванной горной массы в период отрицательных температур

В период отрицательных температур для подавления пыли при производстве массовых взрывов применяют:

- 1) снежный покров, наносимый на взрываемый блок;
- 2) снежно-ледяную крошку в качестве забойки скважин;

3) забойку из отсева дробильно-сортировочной фабрики.

В таблице 1.8 приведена информация о том, на какие из двух представленных параметров образования ПГО воздействуют различные способы подавления пыли при отрицательных температурах.

Таблица 1.8 – Сравнительная характеристика способов и средств подавления пыли при производстве массовых взрывов в период отрицательных температур

Наименование мероприятия	Обеспечивает снижение	
	высоты подъема ПГО	объемов выброса пыли
Удаление бурового шлама из зоны взрыва или его цементация	-	+
Взрывание высокими уступами	+	+
Снижение диаметра скважин	+	+
Двухстороннее инициирование скважинных зарядов	+	+
Забойка из отсева дробильно-сортировочной фабрики	+	+
Нанесение снежного покрова на взрываемый блок	+	+
Применение снежно-ледяной крошки в составе забойки скважины	+	+

Выбирать мероприятия для подавления пыли образующейся при производстве массовых взрывов, необходимо с учетом температуры воздуха на карьере. Мероприятия для пылеподавления наиболее эффективны в определенном температурном диапазоне, который зависит от применяемых компонентов.

#### **1.4 Основные направления совершенствования способов подавления респирабельной фракции пыли**

Анализ результатов исследований, опубликованных в научных изданиях, показал, что проблему запыленности атмосферы

горнодобывающих предприятий необходимо решать с учетом респираторной фракции пыли.

Подготовка взрываемого блока с применением орошения и (или) нанесение тумана с помощью туманогенераторов позволит подавить пыль после взрыва, а нанесение на развал взорванной горной массы специальных пылесвязывающих составов на основе гидрогелей поможет связать пыль и удержать ее от повторного взметывания. Однако орошение взрываемого блока эффективно непосредственно перед массовым взрывом из-за постепенного высыхания и ухода раствора через трещины в блоке. Туман, формируемый на взрываемом блоке, также эффективен непосредственно при производстве массового взрыва, что сложно реализуемо из-за его рассеивания во время вывода техники и работников карьера на безопасное расстояние.

Для увеличения временных интервалов между обработками развала взорванной горной массы необходимо выбирать раствор, обладающий лучшими смачивающими свойствами и длительным временем связывания частиц до его полного высыхания [20].

Для подавления образующихся пылевых частиц следует применять гидрозабойку скважин, которая значительно эффективнее справляется с этой задачей, чем забойка из отсева дробильно-сортировочной фабрики или бурового шлама.

Необходимо отметить, что эффективность пылеподавления от применения гидрозабойки может быть повышена за счет добавления в ее состав поверхностно-активных веществ (далее ПАВ). Для достижения максимальной эффективности пылеподавления ПАВ необходимо выбирать под конкретную взрываемую породу [81]. ПАВ обладают различными смачивающими свойствами, которые зависят от породы, результаты времени смачивания пылевых частиц могут различаться в несколько раз. Выбор состава смачивателя под конкретную взрываемую породу позволит достичь необходимого времени смачивания при минимальной концентрации

поверхностно-активных веществ, что обеспечит высокую эффективность пылеподавления и низкую себестоимость применения смачивателя.

Состав смачивателя на основе воды с добавлением ПАВ можно применять для подавления пыли при различных технологических операциях, например в качестве гидрозабойки скважин при производстве массовых взрывов или в поливооросительных установках при транспортировании и экскавации горной массы.

Замерзание воды при отрицательных температурах делает пылесвязывающие составы на водной основе ограниченными по условиям применения, что требует дополнительных затрат на компоненты снижающие температуру замерзания водных растворов при отрицательных температурах атмосферного воздуха.

Для улучшения условий труда по пылевому фактору при температурах ниже нуля, вместо водных растворов смачивателей, для подавления пыли следует применять снег. Снег можно наносить на взрываемом блоке и (или) использовать в качестве забойки скважин, применение снега на взрываемом блоке позволит повысить эффективность подавления пыли при производстве массовых [38].

Параметры буровзрывных работ влияют на образование пыли при производстве массовых взрывов. Выбор параметров позволяющих снизить выход респирабельной фракции позволит уменьшить ее долю в пылевом аэрозоле. Параметры БВР необходимо подбираются под конкретные горно-геологические условия месторождения [74].

Изменение параметров буровзрывных работ непременно отразится на качестве дробления горной массы, что может привести к увеличению количества негабаритов. Уменьшение диаметра скважин, приведет к увеличению их количества на взрываемом блоке, что отразится на объеме буровых работ.

Разработка научно обоснованной методики прогнозирования гранулометрического состава пыли, образующейся при производстве

массовых взрывов, позволит подобрать параметры буровзрывных работ, которые снизят доля респирабельной фракции в пылевом аэрозоле. Применение данной методики будет наиболее эффективно на стадии проектирования карьера, выбора оборудования и планирования буровзрывных работ.

При разработке средств и способов борьбы с пылью в горной промышленности необходимо учитывать множество факторов, таких как, технология горных работ, характеристики применяемой техники, климатические условия, свойства разрабатываемых пород, скорость и направление воздушных потоков, физико-химические свойства образующейся пыли. Все эти факторы влияют на общий уровень запыленности.

Снижение уровня запыленности, а также доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле, даст возможность минимизировать вред здоровью работников горнодобывающих предприятий, что необходимо для предотвращения развития у работников профессиональных заболеваний органов дыхания и создания безопасных условий труда.

### **1.5 Выводы по главе 1**

1. Основными факторами ухудшающими пылевую обстановку на карьерах строительных материалов, являются пыление отвалов, проведение буровзрывных работ, экскавация и интенсивная работа автотранспорта. Около 35% всех пылевых выделений карьера приходится на буровзрывные работы.

2. Анализ современного состояния условий труда показал, что в Российской Федерации на предприятиях, добывающих полезные ископаемые, средний показатель профессиональной заболеваемости на десять тысяч работающих в настоящее время составляет 16,44, что превышает общероссийский показатель в 16 раз. Временная нетрудоспособность, вызванная заболеваниями органов дыхания, на горнодобывающих предприятиях РФ достигает 42,3%, при этом на гранитном карьере

«Гавриловский» пылевая нагрузка на органы дыхания 40,4% работников превышает контрольные значения.

3. Для снижения профессиональной заболеваемости пылевой этиологии у работников гранитных карьеров и улучшения условий труда по пылевому фактору необходимо разработать эффективные способы подавления респирабельной фракции пыли.

4. Повышение эффективности подавления пылевых частиц, образующихся при производстве массовых взрывов, водными растворами возможно за счет применения в их составе поверхностно-активных веществ, наиболее эффективно смачивающих взрываемую породу.

5. Улучшить условия труда работников карьеров по пылевому фактору при производстве массовых взрывов возможно применяя снежный покров на взрываемом блоке определенной мощности и пористости, который позволит подавить частицы респирабельной фракции пыли.

6. Научно обоснованная методика прогнозирования гранулометрического состава взрываемой породы, с учетом физических процессов протекающих в породе при динамических нагрузках, позволит выбрать параметры буровзрывных работ, которые снизят долю респирабельной фракции пыли в образующемся пылевом аэрозоле.

## ГЛАВА 2 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЫЛЕВЫХ ЧАСТИЦ РЕСПИРАБЕЛЬНОЙ ФРАКЦИИ

### 2.1 Горно-геологические условия залегания и свойства гранитных пород карьера «Гавриловский»

Для повышения эффективности способов подавления респирабельной фракции пыли, образующейся при производстве массовых взрывов, необходимо учитывать вещественный состав пыли, климатические и горно-геологические условия.

Карьер «Гавриловский» расположен в Выборгском районе Ленинградской области, ближайший населенный пункт – поселок Гаврилово. Месторождение карьера представлено гранитами и гранито-гнейсами, залегающими в северо-западном направлении, добыча которых осуществляется с применением буровзрывных работ.

Граниты и гранито-гнейсы обнажаются в форме гряд и скал, покрытых небольшими по мощности наносами. Граниты и гранито-гнейсы являются полезным ископаемым, добываемым на карьере, они относятся к палеогенному периоду, представляют собой мелкозернистую породу серого или серовато-розового цвета. Граниты-гнейсы ровненской толщи составляют меньшую часть, около 20% от общего объема полезных ископаемых [111].

На территории данного месторождения находятся палеогенные граниты, которые составляют примерно 30% от общего объема. Они представлены в виде жил в гранито-гнейсах ладожской толщи на всех участках месторождения.

На данном месторождении наблюдается большой разброс мощности вскрыши, которая может варьироваться от 0 до 12,0 метров, средняя мощность составляет 4,3 метра. Почвенно-растительный слой на этой территории достигает 0,2 метра. Общая мощность полезного ископаемого до горизонта «-37 метров» составляет примерно 80 метров. Что касается жил гранитов, то их мощность не является постоянной и может варьироваться от нескольких сантиметров до нескольких десятков метров.

Физико-механические свойства пород определяют сходство или различие с другими породами и проявляются в ответ на воздействие внешних физических факторов. Физико-механические характеристики пород карьера «Гавриловский» представлены в таблице 2.1 [111].

Таблица 2.1 – Физико-механические свойства пород карьера «Гавриловский»

Показатели	Единицы измерения	Наименование породы	
		Граниты	Гнейсовые граниты
Объемная масса	т/м <sup>3</sup>	2,67-2,71	2,68-2,72
Плотность	т/м <sup>3</sup>	2,68-2,72	2,70-2,74
Коэффициент крепости по М.М. Протодяконову	-	14-16	
Категория по СНИП - IY-5-82	-	X	
Категория по Единой шкале буримости	-	XVI-XVIII	
Акустический показатель трещиноватости	-	0,4-0,6	
Категория по взрываемости по Межотраслевой классификации	-	VI-VII	
Модуль деформации породы	ГПа	61,72	62,84
Прочность породы на сжатие	ГПа	130,58	132,09
Угол падения трещин	°	30	
Расстояние между трещинами	см	0,1-1	
Температура плавления	°С	1215-1260	

Гранит – один из наиболее распространенных природных нерудных материалов, широко встречающихся на всех континентах. Его наиболее характерной особенностью является высокая твердость, благодаря которой граниты играют важную роль в формировании земной коры. Состав гранитов

довольно сложен, чаще всего включает около 20-40% кварца, 40-70% ортоклаза и 5-20% других минералов. Оттенок гранита определяется цветом ортоклаза и может быть разнообразным. Граниты отличаются мелкозернистой и среднезернистой массивной структурой, имеют светло-серый, серо-розовый и темно-розовый цвет [112].

Особенностью гранита является наличие естественного радиоактивного фона, который обуславливается содержанием в его составе примесей редкоземельных элементов (цезия, лантана и др.).

Гранит делится на 4 класса (классификация по активности радионуклидов):

- 1) Первый класс – активность радионуклидов не более 370 Бк/кг;
- 2) Второй класс – активность радионуклидов в пределах 370-740 Бк/кг;
- 3) Третий класс – активность радионуклидов в пределах 740-2800 Бк/кг;
- 4) Четвертый класс – активность радионуклидов более 2800 Бк/кг.

Граниты, добываемые на карьере «Гавриловский», относятся к первому классу и не имеют ограничений в использовании. Гранитные породы второго класса подходят для промышленного и дорожного строительства, а также для наружной облицовки жилых зданий. Их высокая прочность, надежность и эстетическая привлекательность делают эти граниты долговечными и устойчивыми к различным условиям. Граниты третьего класса активности радионуклидов имеют ограниченное применение и могут использоваться только при дорожном строительстве вне населенных пунктов. Это связано с тем, что их радиационная активность превышает допустимые нормы для жилых зданий. Тем не менее, благодаря своей прочности и стойкости к механическим воздействиям, эти граниты все же находят применение в создании дорожных покрытий, обеспечивая безопасность и надежность вне густонаселенных областей. Граниты четвертого класса могут использоваться

для дорожного строительства вне населенных пунктов, но лишь по согласованию с Государственным санитарно-эпидемиологическим надзором.

Промышленные пылевые аэрозоли на карьере «Гавриловский» представляют собой смесь породной пыли, содержащей гранит и гранито-гнейсы, которые практически не отличаются по физико-механическим свойствам. Предельно допустимая концентрация гранитной пыли в воздухе рабочей зоны зависит от содержания диоксида кремния. Этот компонент пыли является активным и может приводить к развитию профессиональных заболеваний у работников. Гранитная пыль, образующаяся в результате ведения горных работ на карьере «Гавриловский», содержит в своем составе 60% кристаллического диоксида кремния.

## **2.2 Влияние параметров буровзрывных работ на гранулометрический состав пыли**

На гранулометрический состав образующейся при производстве массовых взрывов пыли и высоту подъема ПГО существенно влияют следующие параметры БВР: размер сетки скважин, диаметр скважин, скорость детонации ВВ, теплота взрыва ВВ, количество ВВ в скважине.

Схема взрывающейся скважины при организации массового взрыва в условиях карьера «Гавриловский» представлена на рисунке 2.1.

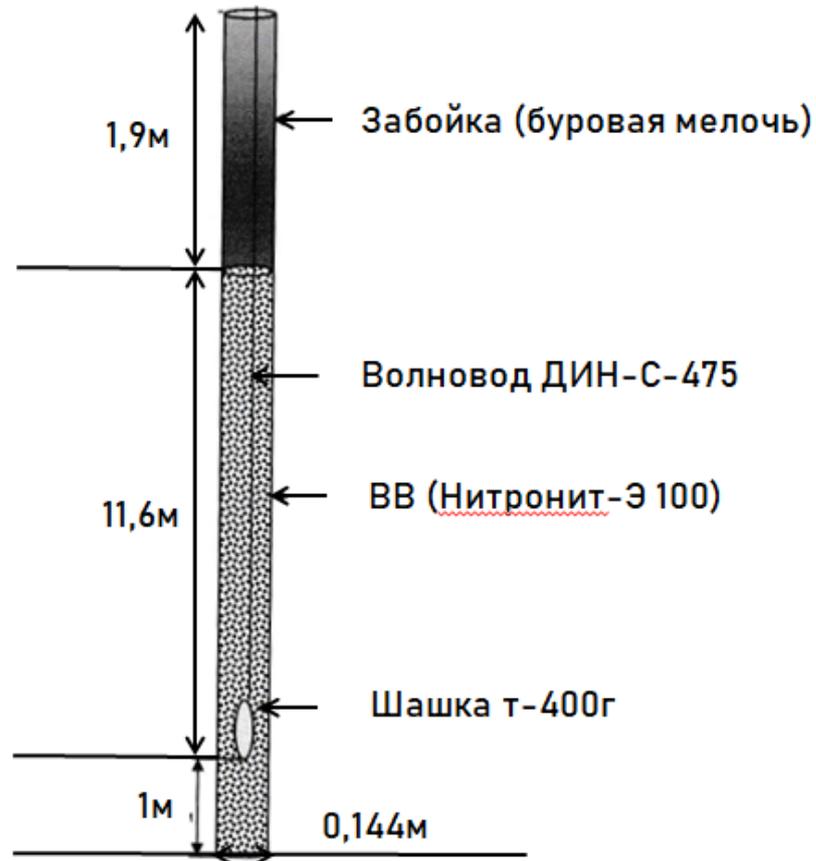


Рисунок 2.1 – Конструкция скважинного заряда на карьере «Гавриловский»

В таблице 2.2 наглядно продемонстрировано как влияет изменение параметров БВР на дальность рассеивания пылевых частиц [47].

Таблица 2.2 – Показатели снижения дальности рассеивания пылевых частиц от изменения параметров БВР

Показатели	Диаметр пылевых частиц, мкм						
	1	3	7	13	23	38	73
Расстояние рассеивания пылевого облака до изменений параметров БВР, км	739,6	82,2	15,1	4,4	1,4	0,5	0,14
Расстояние рассеивания пылевого облака после изменений параметров БВР, км	525,0	58,3	10,7	3,1	1,0	0,36	0,1
Площадь рассеивания пылевого облака до изменений параметров БВР, км <sup>2</sup>	28770,4	489,1	40,0	9,2	2,8	0,96	0,27
Площадь рассеивания пылевого облака после изменений параметров БВР, км <sup>2</sup>	17535,0	279,8	26,2	6,4	1,95	0,69	0,19

Снижение расстояния разноса пыли возможно за счет оптимизации таких параметров БВР как, диаметр скважины и количество ВВ в скважине, они влияют на высоту подъема пылегазового облака и, как следствие, на расстояние и площадь рассеивания пыли.

В таблице 2.3 представлены параметры буровзрывных работ на карьере «Гавриловский»

Таблица 2.3 – Параметры БВР на карьере «Гавриловский»

Наименование параметра	Единицы измерения	Значение параметра
Линия сопротивления по подошве (ЛСПП)	м	4,50
Расстояние между скважинами	м	4,50
Диаметр скважины	мм	144
Высота уступа	м	12,48
Глубина скважины	м	13,48
Длина заряда над ЛСПП	м	10,58
Полная длина заряда	м	11,58
Длина забойки	м	1,9
Материал забойки	-	Буровая мелочь (шлам)
Взрывчатое вещество	-	Нитронит Э-100
Масса ВВ при массовом взрыве	кг	37185,00
Теплота взрыва	кДж/кг	4300
Удельный расход ВВ	кг/м <sup>3</sup>	0,824
Количество скважин	-	150
Интервал замедления	мс	42

Свойства ВВ влияют на пылеобразование при производстве массовых взрывов. Ниже представлены основные параметры ВВ, применяемых в горной промышленности для производства массовых взрывов (таблица 2.4).

Таблица 2.4 – Основные характеристики применяемых ВВ

Наименование ВВ	Теплота взрыва, КДж/кг	Переводной коэффициент по энергетическим и детонационным параметрам	Насыпная плотность ВВ, т/м <sup>3</sup>	Скорость детонации, км/с	Условия применения
Аммонал патронированный	5645	1,0	0,95- 1,2	3,5-4,5	сухие скважины, шпурь
Граммонит 79/21	4285	1,0	0,85-0,9	3,2-4	сухие скважины
Граммонит 79/21ГС	4285	1,0	0,85-0,9	3,2-4	сухие скважины
Граммонит 82/18	4100	1,0	0,85-0,9	3,5-4,2	сухие скважины, кроме труднопроветриваемых условий
Граммонит 50/50	3678	1,04	0,85-0,9	3,6-4,2	сухие скважины
Граммонит 30/70	3511	1,04	0,85-0,9	3,8-4,5	сухие и малообводненные (до 2 м) скважины со слабопроточной водой до 1 суток
Гранипор ФМ	3645	1,1/0,95	1,25	4,9-5,6	обводненные скважины
Гранулотол	3642	1,1/0,95	0,9-0,95	4,0-4,6	сильнообводненные скважины, шпурь без ограничения времени
Гранулит – Ж	3690	1,0	0,9-1,0	2,4-3,2	сухие и осушенные скважины
Нитронит Э-100	4300	1,0	0,85-0,95	5,0-5,2	сильнообводненные

На процесс эффективного дробления взрываеваемой породы оказывают влияние следующие параметры БВР: количество ВВ в скважине, диаметр скважины, сетка скважин, скорость детонации, а также длина и состав забойки скважин. Именно эти параметры в значительной мере определяют коэффициент использования скважины, равномерность дробления массива породы, а также объем выделяемых в атмосферу пыли и газов при производстве массовых взрывов [29].

Необходимо отметить, что роль забойки в дроблении массива является важной. Она увеличивает начальное давление газов и время квазистатической стадии, которая характеризуется наличием высокого давления в зарядной полости. Основная задача забойки заключается в обеспечении сохранения высокого давления в зарядной полости продолжительное время [71]. С увеличением плотности и прочности породы роль забойки только растет.

В таблице 2.5 представлено влияние гидрозабойки и забойки из отсева дробильно-сортировочной фабрики на параметры дробления массива [69].

Таблица 2.5 – Влияние типа забойки на параметры дробления массива

Условия взрывания зарядов	Максимальное напряжение во фронте ударной волны, МПа	Длительность действия ударной волны, мс	Удельный импульс, Н/см <sup>2</sup>	Плотность потока энергии, Н м/м <sup>2</sup>
Без забойки	2,25	1500	1850	12000
С гидрозабойкой	3,12	1530	2450	26000
С забойкой из отсева	3,33	1610	2650	32000

В работе [123] представлены данные о влиянии забойки из отсева дробильно-сортировочной фабрики на максимальный разлет кусков породы при производстве массового взрыва и ширину развала взорванной горной массы (таблица 2.6).

Таблица 2.6 – Показатели опытных взрывов при различной длине забойки скважин из отсева дробильно-сортировочной фабрики

Показатель	Порядковый номер опытного взрыва									
	1		2		3		4		5	
	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой	без забойки	с забойкой
Заряд ВВ в скважине, кг	80	80	70	70	60	60	50	50	40	40
Длина забойки, м	0	4,4	0	5,1	0	5,8	0	6,5	0	7,2
Суммарная масса ВВ, кг	800	800	630	630	360	420	300	300	240	240
Взорвано горной массы, м <sup>3</sup>	2360	2360	2120	2120	1420	1650	1420	1420	1290	1420
Выход горной массы, м <sup>3</sup> /пог.м	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	23,6	21,5	23,6
Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	0,34	0,34	0,3	0,3	0,25	0,25	0,21	0,21	0,19	0,17
Максимальный разлет кусков, м	200	200	150	150	100	50	65	25	35	-
Ширина развала, м	18	18	13	13	11	10	9	8	5	8

Забойка оказывает существенное влияние на работоспособность взрывчатых веществ, что подтверждается многолетним опытом в области подготовки и проведения взрывных работ, а также специализированными исследованиями отечественных и зарубежных ученых [47,78,125].

Производство массовых взрывов с применением гидрозабойки скважин существенно увеличивает продолжительность действия ударной волны и максимальное напряжение в ее фронте. Гидрозабойка повышает эффективность дробления массива почти настолько же, как и забойка из отсева дробильно-сортировочной фабрики.

Все исследования, связанные с определением целесообразности применения забойки скважин, однозначно подтверждают ее существенное влияние на конечные результаты взрыва. В случае проведения массового взрыва без использования забойки нереализованный энергетический потенциал ВВ затрачивается на образование пыли, тогда как применение забойки позволяет существенно снизить уровень запыленности благодаря задержке продуктов взрыва внутри скважины и связыванию пылевых частиц в пылегазовом облаке [37].

Использование гидрозабойки в скважинах имеет множество положительных эффектов. Помимо улучшения дробления массива горной породы гидрозабойка позволяет значительно повысить эффективность пылеподавления на 33,8-50,4% и газоподавления на 32,2-64,5% [67]. Еще одной важной особенностью применения гидрозабойки является снижение высоты подъема пылегазового облака более чем в два раза.

Вода из гидрозабойки при производстве массового взрыва взмывается в ПГО, смачивая и осаждая частицы пыли. Смачивание пылевых частиц гидрозабойкой происходит за счет эффекта адгезии, сцепления поверхностей разнородных тел, обусловленного межмолекулярным взаимодействием в поверхностном слое.

В таблице 2.7 представлена эффективность применения гидрозабойки скважин по сравнению с забойкой из отсева дробильно-сортировочной фабрики [47].

Таблица 2.7 – Показатели эффективности пылеподавления при использовании гидрозабойки скважин и забойки из отсева дробильно-сортировочной фабрики

Тип и крепость пород	Участок блока	Объем взорванной горной массы, тыс. м <sup>3</sup>	Удельный расход ВВ, кг/м <sup>3</sup>	Тип забойки и	Средняя концентрация пыли в облаке, мг/м <sup>3</sup>	Удельный расход воды, л/кг	Эффективность подавления, % (пыли/газа)
Магнетитогематитовые, f = 10-12	Контрольный участок	29	0,59	забойка из отсева	1570	-	-
	Экспериментальный участок	42	0,59	гидрозабойка	675	0,67	52/64
Тальковые сланцы, f = 6-8	Контрольный участок	22	0,47	забойка из отсева	183	-	-
	Экспериментальный участок	79	0,47	гидрозабойка	121	0,36	33/32
Сланцы, f = 6-8	Контрольный участок	142	0,71	забойка из отсева	198	-	-
	Экспериментальный участок	61	0,71	гидрозабойка	126	0,37	35/35
Магнетитосиликатные кварциты, f = 10-14	Контрольный участок	39,8	0,5-0,8	забойка из отсева	1160	-	-
	Экспериментальный участок	32	0,5-0,8	гидрозабойка	520	0,54	55/52

Эффективность пылеподавления определялась путем сравнительного анализа массовой концентрации пыли в ПГО при взрывах сопоставимых блоков с применением гидрозабойки скважин и забойки из отсева дробильно-сортировочной фабрики [116].

Повысить эффективность пылеподавления возможно за счет применения в составе гидрозабойки ПАВ, снижающих поверхностное натяжение воды и улучшающих адгезионные свойства водного раствора и, как следствие, смачивающую способность [105].

### **2.3 Физические процессы измельчения горных пород при взрыве**

Для того чтобы прогнозировать долю респирабельной фракции в образующемся при производстве массовых взрывов пылевом аэрозоле и, изменяя параметры БВР, снижать ее, необходимо изучить физические процессы, протекающие в породе при динамических нагрузках.

На пылевыделение при производстве массовых взрывов влияют физико-механические свойства горных породы, которые определяются формами, размерами и ориентацией в пространстве минеральных зерен. Возникновение, рост и слияние трещин во время динамических нагрузок при производстве массового взрыва проявляются деформацией отдельных минеральных зерен [1]. Динамическая нагрузка, оказываемая на горный массив при взрыве, формирует зону разрушения, которая характеризуется напряжением, превышающим прочность породы [70].

В результате массового взрыва горные породы разрушаются и происходит дополнительное дробление и перемещение обломков породы. Этот этап возникает из-за движения разрушенных обломков под воздействием инерционных сил, что сопровождается интенсивным трением между кусками породы и образованием пыли. Исследования, представленные в работах [64,114], показывают, что основными источниками формирования мельчайших пылевых частиц являются прилегающая к взрывчатому веществу порода и окружающая ее зона.

Также одним из источников пылевыведения являются осевшие пылевые частицы в зоне действия ударной воздушной волной (далее УВВ). При производстве массового взрыва вся осевшая пыль взметывается с поверхности уступа под действием УВВ.

Пылеобразование при производстве массового взрыва можно разделить на следующие этапы:

1. Ближняя зона – образование мельчайших частиц пыли под воздействием детонации и газообразных продуктов взрыва.

2. Средняя зона – пыль появляется в результате дробления и трещинообразования.

3. Измельченная порода разлетается с высокой скоростью в разных направлениях, при столкновении с другими частицами породы вызывая образование пыли.

Физические процессы формирования отдельных фракций образующихся кусков породы рассматриваются в работах [65,111]. Исследования физических процессов измельчения взрывающейся породы учитывают зоны разрушения, в которых имеются следующие подзоны: переизмельчения, дробления, трещинообразования и откола. Следует отметить, что всем зонам соответствует свой механизм образования пыли. Камуфлетной стадии взрыва соответствуют первые три зоны, а четвертая – результат распространения от свободной поверхности в сторону заряда волны разряда [78]. При производстве массового взрыва происходит образование трещин, их слияние, сдвиг и отрыв крупных частиц породы, внутри которых содержится множество трещин, у которых слияние не произошло.

Геологические формации состоят из разнообразных минеральных зерен, которые различаются по размеру, форме и ориентации в трехмерном пространстве, эти характеристики непосредственно влияют на физико-механические свойства таких горных образований. Взрывная нагрузка приводит к изменению этих свойств, поскольку минеральные зерна

подвергаются деформации, а трещины образуются, растут и сливаются друг с другом, при этом расходуется энергия, выделяемая при взрыве ВВ [110].

При производстве массовых взрывов в горной породе возникает динамическое воздействие, которое приводит к образованию зоны напряжения, превышающего допустимые пределы прочности на сжатие, растяжении или сдвиг. Предел прочности на сжатие определяет границу зоны переизмельчения, где на определенном расстоянии напряжение фронта волны становится ниже установленного предела прочности на сжатие. В момент взрыва продукты детонации ВВ начинают хаотично расширяться, что приводит к вытеснению забойки и истечению пылегазового аэрозоля из устья скважины.

Процесс дробления горной породы взрывом состоит из двух стадий: волновой и квазистатической. На первой стадии наблюдается распространение волн напряжений, где характеристики волн изменяются по мере удаления от источника внутрь горной массы. Вторая стадия, квазистатическая, характеризуется наличием высокого давления в зарядной полости, вызванного газообразными продуктами взрыва, которое поддерживает напряженное состояние массива. В итоге, такие условия приводят к окончательному разрушению и перемещению горной породы [108].

Воздействие динамической нагрузки, вызванной взрывом, приводит к возникновению локальных напряжений и появлению микротрещин. При воздействии локальных напряжений возникают не только новые микротрещины, но и растут уже существующие. По мере увеличения расстояния от источника взрыва и уменьшения динамической нагрузки наблюдается возникновение более глубоких трещин.

Внутри взрываемого горного массива одновременно присутствуют трещины и пылевые частицы разных размеров, образуемые под воздействием динамического напряжения. Средний размер пылевых частиц зависит от

длительности действия ударной волны и динамического напряжения на взрываемый массив.

Расчет гранулометрического состава образующихся пылевых частиц при производстве массовых взрывов возможно осуществлять с применением законов распределения частиц [45,113]. Такие законы могут быть также применены для прогнозирования распределения респирабельной фракции с размером частиц до 10 мкм на основе кинетической теории прочности и статистической термодинамики.

#### **2.4 Расчет гранулометрического состава пылевых частиц, образованных при производстве массового взрыва**

Гранулометрический состав пыли, выделяемой при производстве массовых взрывов, определяет долю респирабельной фракции, образующейся в пылевом аэрозоле после производства массового взрыва. Прогнозировать гранулометрический состав образующихся пылевых частиц можно с помощью законов распределения частиц в различном диапазоне крупности при взрывании различных горных пород [43].

Разработка программы для прогнозирования гранулометрического состава пыли, образующейся в результате взрывного разрушения горной породы, с использованием законов распределения частиц имеет большое практическое значение для определения параметров БВР, позволяющих снизить выход респирабельной фракции пыли, что отразится на доле респирабельной фракции пыли в пылевом аэрозоле.

Для определения действительной пылевой нагрузки на органы дыхания работников горнодобывающих предприятий необходимо учитывать долю респирабельной фракции пыли в пылевом аэрозоле.

Прогнозирование гранулометрического состава образующейся пыли с использованием законов распределения частиц зависит от: физико-механических свойств взрываемой породы, условий взрывания, типа ВВ, конструкции заряда и т.д. [72].

Для прогнозирования гранулометрического состава пылевого аэрозоля, возможно, использовать законы распределения частиц, которое позволяют определить, сколько процентов массы взрываемого блока приходится на каждую фракцию пыли. Законы распределения представляют собой зависимость процентного выхода пылевых частиц образующихся при производстве массового взрыва от их диаметра.

В рамках выполнения диссертационного исследования для прогнозирования гранулометрического состава пылевого аэрозоля и доли в нем респирабельной фракции, образующегося при производстве массовых взрывов, рассматривались следующие законы распределения:

- 1) Swebrec;
- 2) Логарифмически-нормальное распределение;
- 3) Розина - Раммлера.

Распределение частиц пыли при производстве массового взрыва асимптотически стремится к логарифмически-нормальному закону распределения, независимо от начального распределения на первой стадии взрыва [87].

Логарифмически-нормальный закон распределения является асимметричным, так как он не имеет отрицательных значений, он представлен формулой 2.1 [69]:

$$y = \exp \left[ \frac{(\ln x - \ln x_{50})}{\sigma_{\ln x}} \right], \quad (2.1)$$

где  $y$  – выход пылевых частиц, %;

$x$  – размер частицы, мм;

$\sigma_{\ln x}$  – среднеквадратический параметр массового распределения частиц;

$x_{50}$  – медиана распределения частиц пыли.

Среднеквадратический параметр массового распределения частиц взрываемой породы можно рассчитать по формуле 2.2 предложенной М.Г. Менжулиным [69].

$$\sigma_{\ln x} = \frac{2 \cdot \pi \cdot U}{R \cdot T \cdot K^3}, \quad (2.2)$$

где  $R$  – универсальная газовая постоянная равная 8,31;

$K$  – концентрационный коэффициент слияния трещин, постоянный для данной породы, определяется на основании экспериментальных данных, для гранитной породы карьера «Гавриловский» коэффициент равен 3;

$T$  – температура плавления породы, °С;

$U$  – энергия активации процесса разрушения, равна  $134T$ .

Для определения гранулометрического состава пылевых фракций важно использовать логарифмически-нормальное распределение. Однако, для этого необходимо вычислить медиану распределения частиц пыли, которая может быть определена по формуле 2.3 [87].

$$x_{50} = \frac{x_c \cdot \ln 2^{\frac{1}{(n \cdot n^*)}}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{(n \cdot n^*)}\right)}, \quad (2.3)$$

где  $\Gamma$  – это гамма-функция;

$x_c$  – средневзвешенный размер куска породы;

$n$  – показатель степени однородности;

$x_c^*$  и  $n^*$  – коэффициенты, выбираемые из табличных значений, зависящих от коэффициента  $n$  (таблица 2.8) [132].

При воздействии внешнего напряжения, имеющего достаточное время действия, происходит накопление трещин до критических концентраций  $n^*$ . Изначально критические концентрации возникают для самых маленьких трещин, а затем распространяются на все более крупные.

Показатель степени однородности рассчитывается по формуле 2.4 [87].

$$n = \left(2,2 - 14 \frac{B}{d}\right) \cdot \left(\frac{1 + \frac{S}{B}}{2}\right)^{0,5} \cdot \left(1 - \frac{W}{B}\right) \cdot \left(\frac{|CCL - BCL|}{L} + 0,1\right)^{0,1} \cdot \left(\frac{L}{H}\right), \quad (2.4)$$

где  $B$  – линия наименьшего сопротивления (ЛНС), м;

$d$  – диаметр скважины, мм;

$S$  – расстояние между скважинами (РМС), м;

$W$  – отклонение при бурении м/м;

$CCL$  – длина колонки заряда без учета длины заряда в перебуре, м;

$BCL$  – длина заряда в перебуре, м;

$L$  – общая длина заряда, м;

$H$  – высота уступа, м.

Таблица 2.8 – Значения  $n^*$  и  $x_c^*$

$n$	$n^*$	$x_c^*$
0,5	0,33	0,5
0,75	0,41	0,9
1	0,49	1
1,25	0,57	1
1,5	0,65	1
2	0,81	1
3	1,14	1

Размер средневзвешенного куска породы определяется по эмпирической формуле 2.5 [35].

$$x_c = A \cdot Q^{\frac{1}{6}} \cdot q^{-0,8} \left( \frac{RBS}{115} \right)^{\frac{-19}{30}}, \quad (2.5)$$

где  $q$  – удельный расход ВВ, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – масса ВВ в тротиловом эквиваленте;

$RBS$  – переводной коэффициент на эквивалент по игданиту;

$A$  – коэффициент трещиноватости, зависящий от физико-механических свойств взрывающей породы «rock factor».

Масса ВВ в тротиловом эквиваленте определяется по формуле 2.6 [35].

$$Q = \frac{m_{ск} \cdot Q_e}{4200}, \quad (2.6)$$

где  $m_{ск}$  – масса взрывчатого вещества в скважине, кг;

$Q_e$  – энергия взрыва используемого взрывчатого вещества, кДж/кг

Коэффициент трещиноватости взрывающей породы «rock factor» рассчитывается по формуле 2.7 [87].

$$A = 0,06 \cdot (HF + RDi + JPA + JPS + RMD), \quad (2.7)$$

где  $HF$  – коэффициент жесткости породы;

$RDi$  – коэффициент плотности породы;

$JPA$  – коэффициент угла падения трещин в вертикальном плане;

$JPS$  – коэффициент расстояния между трещинами в вертикальном плане;

$RMD$  – коэффициент характеристики массива.

Для определения коэффициента жесткости породы используется две формулы, выбираемые в зависимости от значения модуля деформации породы: если он меньше 50 ГПа, то по формуле 2.8.

$$HF = \frac{E}{3}, \quad (2.8)$$

где  $E$  – модуль деформации, ГПа.

Если значение модуля деформации больше 50 ГПа, то по формуле 2.9.

$$HF = \frac{\sigma_{сж}}{5}, \quad (2.9)$$

где  $\sigma_{сж}$  – прочность породы на сжатие, ГПа.

Коэффициент плотности породы определяется по формуле 2.10.

$$RDi = 0,025 \cdot \rho - 50, \quad (2.10)$$

где  $\rho$  – плотность породы, кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент угла падения трещин взрываваемой породы в вертикальном плане определяется по таблице 2.9.

Таблица 2.9 – Коэффициент угла падения трещин в вертикальном плане

Направление падения	JPA
Вглубь забоя	40
По простиранию	30
Наружу забоя	20
Горизонтальные	10

Коэффициент расстояния между трещинами взрываваемой породы в вертикальном плане определяется по таблице 2.10

Таблица 2.10 – Коэффициент расстояния между трещинами в вертикальном плане

Расстояние между трещинами, см	JPS
0,1	10
0,1-1	20
>1	50

Коэффициент характеристики взрываемого массива определяется по таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Коэффициент характеристики массива

Характеристика взрываемого массива	RMD
Рыхлый	10
Блочный	20
Массивный	50

На рисунке 2.2 представлено прогнозирование гранулометрического состава образующихся пылевых частиц с использованием логарифмически-нормального закона распределения. Фракции с размером частиц более 800 мкм не рассматривались, так как они не представлены в пылевом аэрозоле.

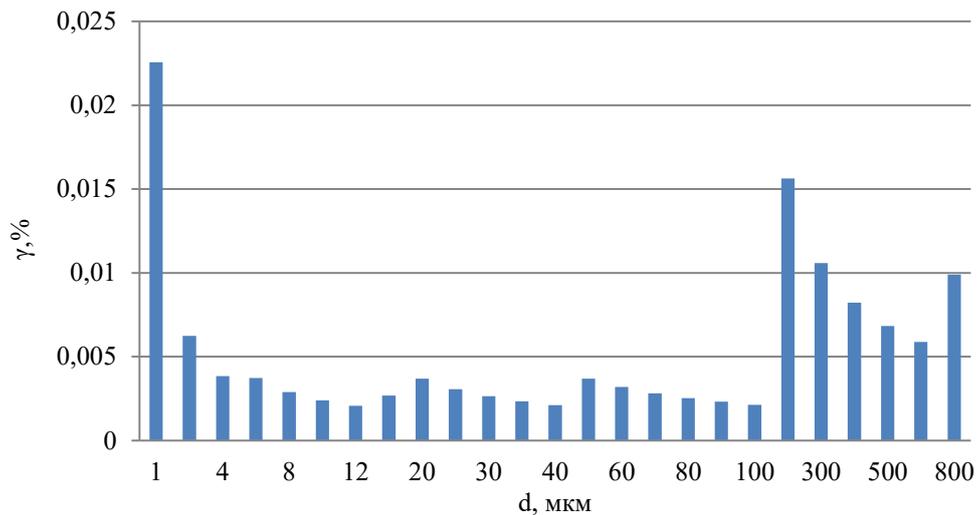


Рисунок 2.2 – Прогнозирование гранулометрического состава пылевых частиц логарифмически-нормальным законом распределения

Сравнивая результаты прогнозирования гранулометрического состава образующегося пылевого аэрозоля с использованием логарифмически-нормального закона распределения с результатами лабораторного исследования гранулометрического состава осевших пылевых частиц в параграфе 3.1, следует обратить внимание, что данная функция наиболее точно описывает распределение частиц размером 100-600 мкм.

Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли с использованием данного закона распределения представлено на рисунке 2.3. Для определения достоверности результатов прогнозирования были также представлены результаты натурных исследований гранулометрического состава респираторной фракции пыли из параграфа 3.4.

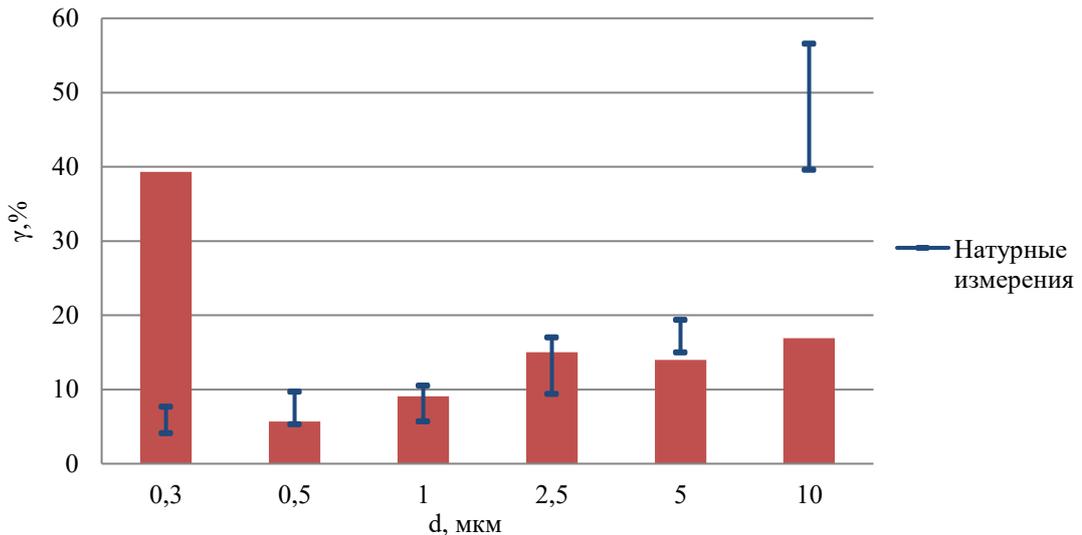


Рисунок 2.3 – Сравнение прогнозирования логарифмически-нормальным законом распределения с результатами натуральных исследований

Как видно из рисунка 2.3, на фракцию менее 0,3 мкм приходится 40% от всей массы респирабельной фракции пыли, что противоречит результатам натуральных исследований, следовательно логарифмически-нормальный закон распределения завышает выход мельчайших пылевых фракций.

При всестороннем сжатии в горном массиве образуется напряжение на растяжение, под действием которого некоторые частицы отрываются от разрушаемого массива, их описывает закон распределения частиц Розина - Раммлера [35]. Также данный закон описывает взаимодействие взрывных волн с трещинами, распределенными по взрываемому блоку, он представлен формулой 2.11 [118].

$$y = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{x}{x_c \cdot x_c^*} \right)^{n \cdot n^*} \right] \quad (2.11)$$

На рисунке 2.4 представлено прогнозирование гранулометрического состава образующихся пылевых частиц размером до 800 мкм с использованием закона распределения Розина - Раммлера.

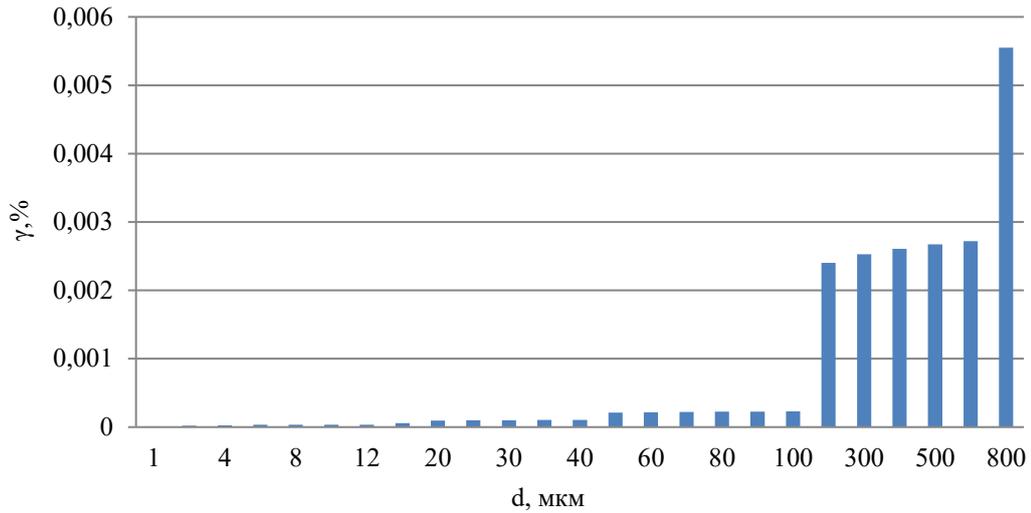


Рисунок 2.4 – Прогнозирование гранулометрического состава частиц пыли законом распределения частиц Розина - Раммлера

По результатам прогнозирования гранулометрического состава пылевых частиц диаметром до 800 мкм можно сделать вывод, что закон распределения Розина - Раммлера не позволяет прогнозировать долю респираторной фракции в образующемся пылевом аэрозоле, так как практически не учитывает ее в общей массе выделяемой пыли.

Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли с использованием закона распределения частиц Розина - Раммлера представлено на рисунке 2.5.

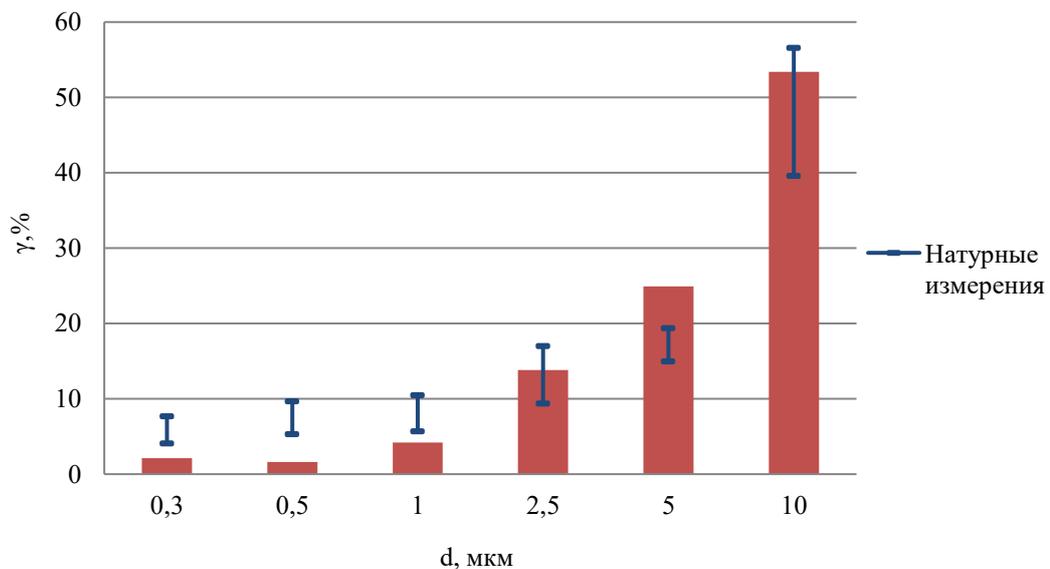


Рисунок 2.5 – Сравнение прогнозирования законом распределения Розина - Раммлера с результатами натуральных исследований

Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли законом распределения Розина - Раммлера имеет распределение частиц фракции  $PM_{10}$  сопоставимое с результатами натуральных измерений, однако при прогнозировании гранулометрического состава частиц диаметром до 800 мкм фракция  $PM_{10}$  практически не представлена данным законом распределения.

На сегодняшний день в горном деле при производстве массовых взрывов для прогнозирования распределения гранулометрического состава образующейся взорванной горной массы широко применяют функцию Swebrec [125,132]. Преимуществом данного закона распределения является его применение для прогнозирования распределения гранулометрического состава образующихся как крупных кусков породы, так и мелких пылевых частиц, закон распределения представлен формулой 2.12.

$$y = \frac{1}{1 + \left( \frac{\ln \frac{x_{\max}}{x}}{\ln \frac{x_{\max}}{x_{50}}} \right)^b}, \quad (2.12)$$

где  $x_{\max}$  – максимальный размер куска породы;

$b$  – степень однородности кривой распределения.

Показатель степени однородности кривой распределения определяется по формуле 2.13.

$$b = n \cdot n^* \cdot 2 \cdot \ln 2 \cdot \ln \frac{x_{\max}}{x_{50} \cdot 10} \quad (2.13)$$

Прогнозирование гранулометрического состава образующихся пылевых частиц при производстве массового взрыва представлено на рисунке 2.6.

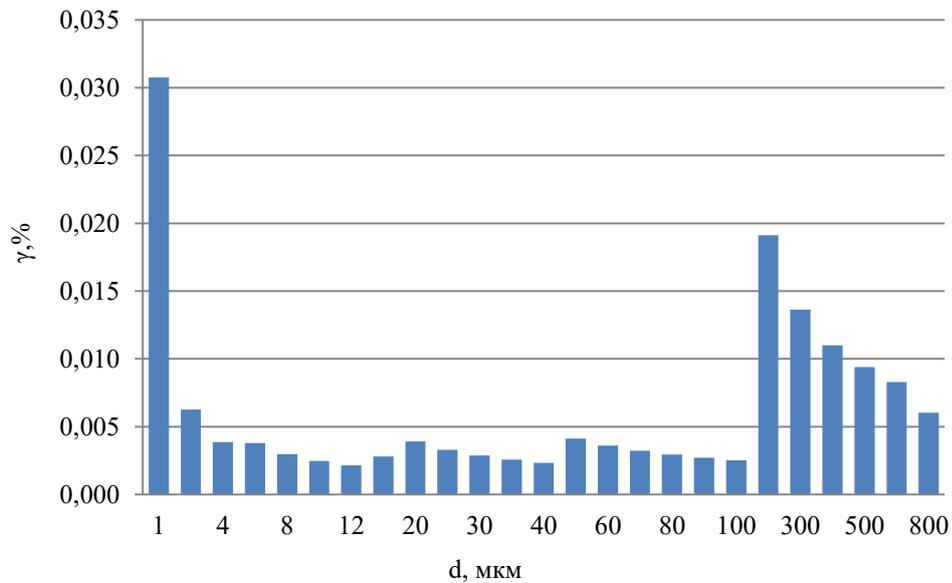


Рисунок 2.6 – Прогнозирование гранулометрического состава частиц пыли законом распределения Swebrec

Результаты прогнозирования гранулометрического состава образуемых пылевых частиц диаметром менее 800 мкм законом распределения Swebrec сопоставимы со значениями, полученными при использовании логарифмически-нормального закона распределения, также значительная доля приходится на частицы менее 1 мкм и более 200 мкм. Однако, распределение законом Swebrec более достоверно в сравнении с результатами лабораторных исследований, чем логарифмически-нормальным законом распределения и Розина - Раммлера.

Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли законом распределения Swebrec, исходя из результатов прогнозирования более крупной фракции, также должно быть сопоставимым с результатами прогнозирования логарифмически-нормальным законом распределения (рисунок 2.7).

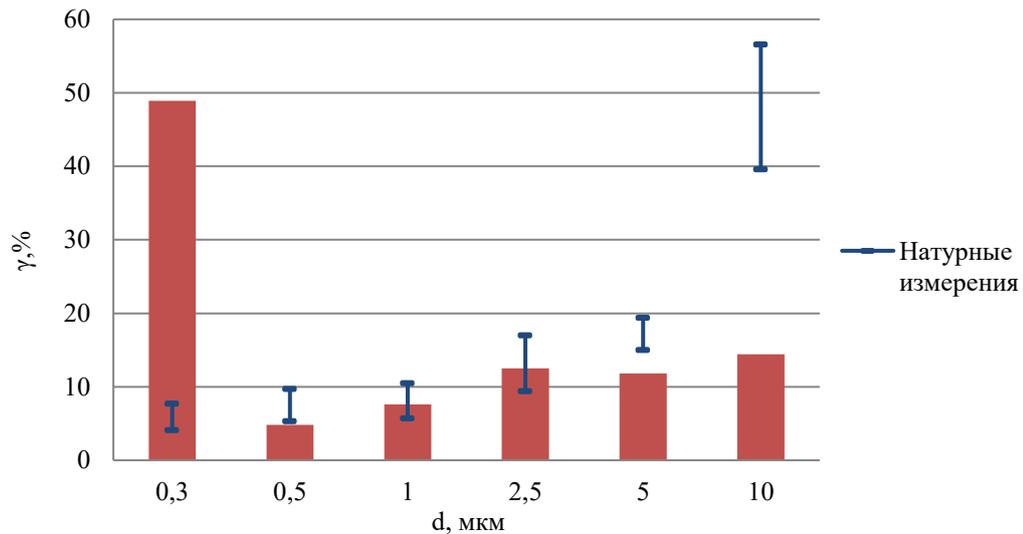


Рисунок 2.7 – Сравнение прогнозирования законом распределения Swebrec с результатами натуральных исследований

При прогнозировании гранулометрического состава респираторной фракции пыли законом распределения Swebrec размером на фракцию менее 0,3 мкм приходится 50% от всей массы респираторной фракции пыли, что сопоставимо с прогнозированием логорифмически-нормальным законом распределения и также противоречит результатами натуральных исследований.

Замышляев Б.В. предложил улучшить логарифмически-нормальный закон для распределения мелких пылевых частиц, образованных в результате многократного дробления взрывом. Для расчета среднеквадратического параметра массового распределения частиц предложена формула 2.14, которая позволяет прогнозировать распределение мелких пылевых частиц, образованных при фазе сжатия в ближней зоне и растяжения в дальней [35].

$$\sigma_{\ln x} = 1,77 + 0,03 \cdot \ln \left( \frac{q_e}{q_0} \right), \quad (2.14)$$

где  $q_0$  – идеальная энергия взрыва, 4200 кДж;

$q_e$  – полная энергия массового взрыва, кДж.

Полная энергия массового взрыва рассчитывается по формуле 2.15.

$$q_e = m_{\text{ВВ}} \cdot Q_e, \quad (2.15)$$

где  $m_{\text{ВВ}}$  – это масса взрывааемых за один массовый взрыв взрывчатых веществ, кг.

На рисунке 2.8 представлено прогнозирование гранулометрического состава образующихся пылевых частиц размером до 800 мкм логарифмически-нормальным законом распределения с использованием формулы, предложенной Замышляевым Б.В.

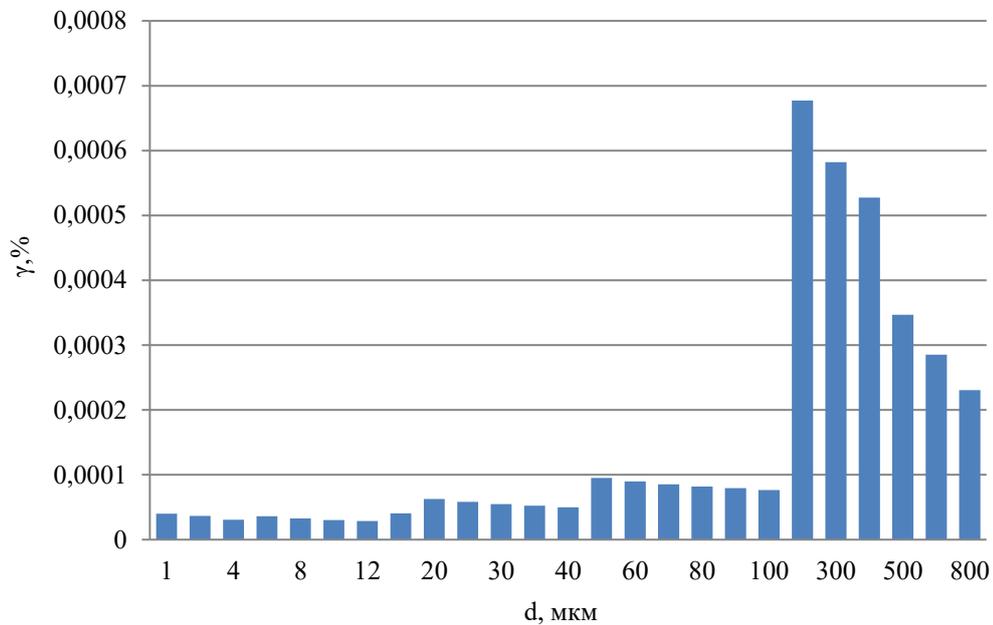


Рисунок 2.8 – Прогнозирование гранулометрического состава частиц пыли логнормальным законом распределения Замышляева

При прогнозировании гранулометрического состава пылевых частиц диаметром до 800 мкм можно сделать вывод, что логарифмически-нормальный закон распределения с применением формулы для расчета среднеквадратического распределения, предложенной Замышляевым Б.В., позволяет получить данные наиболее сопоставимые с результатами лабораторных исследований.

Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли логарифмически-нормальным законом распределения частиц с использованием формулы Замышляева Б.В. представлено на рисунке 2.9.

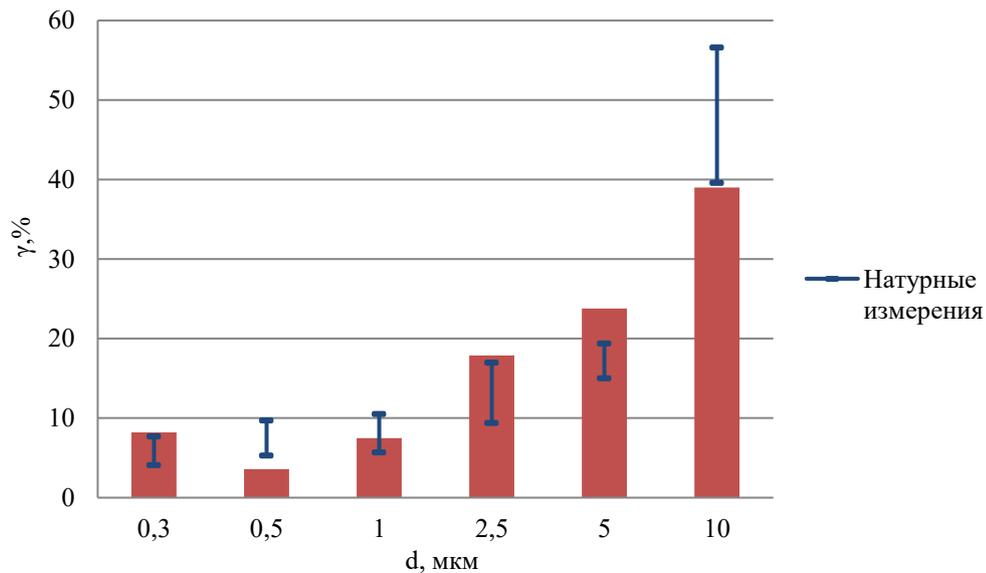


Рисунок 2.9 – Сравнение прогнозирования логнормальным законом распределения Замышляева с результатами натуральных исследований

Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли логарифмически-нормальным законом распределения с применением формулы, предложенной Замышляевым Б.В., позволяет получить наиболее достоверные данные по составу фракции  $PM_{10}$ , сопоставимые с результатами натуральных измерений.

Прогнозирование гранулометрического состава пылевых частиц, образующихся при производстве массовых взрывов, с применением различных законов распределения показало, что все законы в той или иной степени описывают распределение пылевых частиц и могут применяться для прогнозирования определенного диапазона фракций.

Для прогнозирования гранулометрического состава пылевых частиц респираторной фракции, образующихся при производстве массовых взрывов, следует применять логарифмически-нормальный закон распределения с формулой среднеквадратического распределения, предложенной Замышляевым Б.В. Результаты прогнозирования гранулометрического состава респираторной фракции пыли с использованием данного закона распределения являются наиболее достоверными.

## 2.5 Выводы по главе 2

1. Анализ горно-геологических условий карьера «Гавриловский» показал, что месторождение представлено гранитами и гранито-гнейсами с плотностью  $2,7 \text{ т/м}^3$ , прочностью породы на сжатие 130,6-132,1 ГПа, модулем деформации породы 61,7-62,8 ГПа и содержанием диоксида кремния 60%, что требует эффективных мероприятий по предупреждению развития у работников профессиональных заболеваний органов дыхания.

2. Оценка эффективности применения гидрозабойки при производстве массовых взрывов показала, что она повышает эффективность пылеподавления на 33,8-50,4% по сравнению с забойкой из отсева дробильно-сортировочной фабрики, эффективность пылеподавления увеличивается при добавлении в гидрозабойку поверхностно-активных веществ.

3. Образование частиц пыли респирабельной фракции при производстве массовых взрывов связано с переизмельчением взрываваемой породы, на которую оказывает влияние скорость детонации ВВ, за счет формирующейся детонационной волны и газообразных продуктов взрыва.

4. Установлено, что логарифмически-нормальный закон распределения частиц, который учитывает совокупное влияние физико-механических свойств породы и параметров БВР с использованием формулы Замышляева Б.В., позволяет наиболее достоверно прогнозировать долю респирабельной фракции с размером частиц до 10 мкм в образующемся пылевом аэрозоле.

## **ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ПЫЛЕПОДАВЛЯЮЩИХ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И СНЕЖНОГО ПОКРОВА**

### **3.1 Натурные и лабораторные исследования гранулометрического состава пылевых частиц респирабельной фракции**

В ходе диссертационной работы были выполнены исследования гранулометрического состава образующегося при производстве массового взрыва пылевого аэрозоля, для определения доли в нем респирабельной фракции. Исследования гранулометрического и количественного состава респирабельной фракции пыли велись в Ленинградской области на карьере «Гавриловский», где подготовка пород к выемке осуществляется буровзрывным способом.

В работе применен комплексный подход, который содержит:

1. Натурные исследования, проведенные на карьере "Гавриловский" в поселке Гаврилово, направленные на изучение запыленности атмосферного воздуха, состава пылевых аэрозолей и факторов влияющих на аэротехногенную обстановку в рабочей зоне.

2. Лабораторные исследования проводились в Горном университете Санкт-Петербурга в научном центре «Геомеханики и проблем горного производства». Они направлены на изучение гранулометрического состава пылевых частиц, осевших после производства массового взрыва.

Исследования проводились в разное время года, при разных погодных условиях с основной целью, выявить количество пылевых частиц респирабельной фракции в замерных точках на различном расстоянии от взрываемого блока, от 10 до 50 м.

Через 30 минут после производства массового взрыва проводились замеры количества пылевых частиц респирабельной фракции для определения ее массовой концентрации. При выполнении замеров через прибор в течении 1 минуты прокачивалось 943 мл атмосферного воздуха и определялось количество пылевых частиц различного диаметра в данном

объеме воздуха [24,25]. При проведении натурных исследований применялся прибор для подсчета частиц пыли «CEM DT-9880» (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – счетчик пылевых частиц «CEM DT-9880»

Расположение точек замеров количества частиц респираторной фракции пыли зависит от геометрических параметров взрывающегося блока и прилегающего к нему пространства [90]. На рисунке 3.2 представлено расположение точек замеров на взрывающемся уступе.

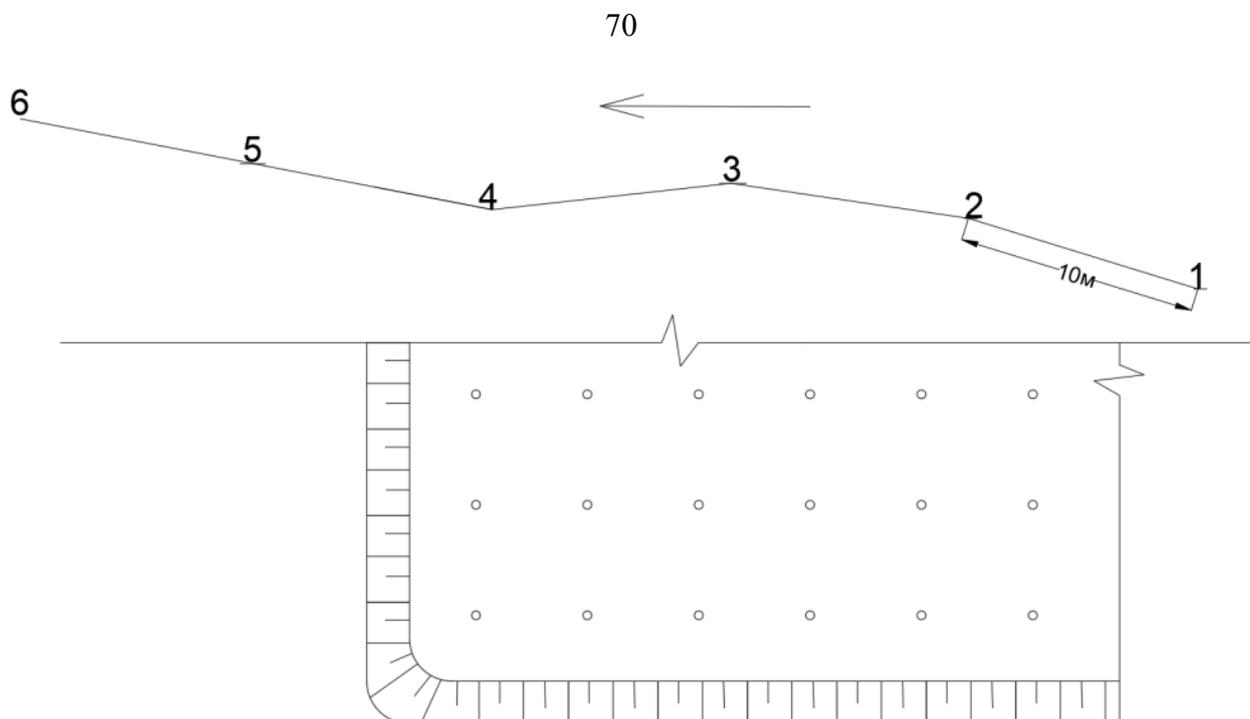


Рисунок 3.2 – Схема расположения точек замеров пылевых частиц

Результаты натуральных исследований количества пылевых частиц респираторной фракции, образующихся при производстве массового взрыва, в январе 2022 года при отрицательной температуре воздуха представлены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Количество частиц пыли респираторной фракции, образованных при производстве массового взрыва в январе 2022 года

Размер частиц, мкм	Расположение точки замера, м					
	до взрыва	10	20	30	40	50
0,3	8726	41221	13628	9730	8501	7074
0,5	1421	15714	4869	4111	2856	2620
1	287	2478	1134	827	520	589
2,5	27	219	105	63	63	69
5	6	31	40	13	10	20
10	3	10	13	8	10	8

Натурные исследования количества пылевых частиц респираторной фракции образующихся при производстве массовых взрывов в период положительных температур были проведены в августе 2022 года, результаты представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Количество частиц пыли респираторной фракции, образованных при производстве массового взрыва в августе 2022 года

Размер частиц, мкм	Расположение точки замера, м					
	до взрыва	10	20	30	40	50
0,3	11340	127200	124020	39371	37373	34120
0,5	2576	36756	31537	11578	9855	9798
1	431	5139	3584	1876	1378	1201
2,5	59	487	371	207	144	133
5	11	57	58	21	42	34
10	6	20	15	8	15	14

При производстве массовых взрывов в период положительных температур, без применения способов пылеподавления, количество пылевых частиц респираторной фракции значительно выше, чем при отрицательных температурах.

Анализ результатов натурных исследований показал, что снижение массовой концентрации респираторной фракции пыли зависит от расстояния до взрываемого блока. На рисунке 3.3 представлена зависимость снижения респираторной фракции пыли от расстояния до взрываемого блока по направлению распространения пылегазового облака.

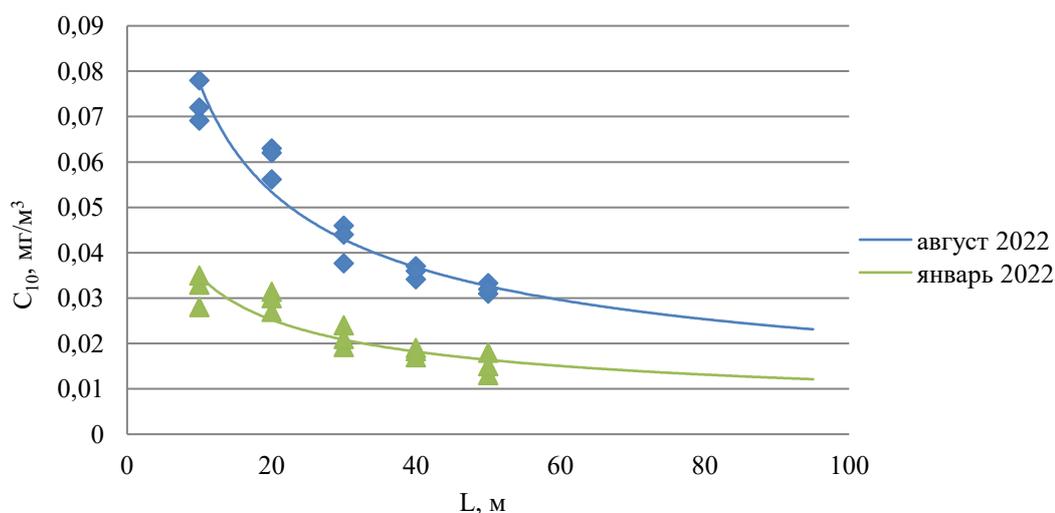


Рисунок 3.3 – Снижение массовой концентрации респираторной фракции пыли с увеличением расстояния до взрываемого блока

При производстве массового взрыва частицы пыли поднимаются на значительную высоту и распространяются по направлению воздушного потока, представленная зависимость позволит рассчитать пылевую нагрузку на органы дыхания работников карьера, находящихся в зоне распространения пылегазового облака [95].

Отбор проб для исследования гранулометрического состава осажденных пылевых частиц производился с помощью пылесборников установленных на расстоянии 50 м от взрываемого блока по направлению распространения ПГО.

Собранные образцы пыли исследовались в лабораторных условиях с помощью анализатора размеров частиц «Camsizer XT» (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – анализатор размеров частиц «Camsizer XT»

Результаты лабораторных исследований гранулометрического состава пылевых частиц осажденных после производства массового взрыва в августе 2022 года представлены на рисунке 3.5.

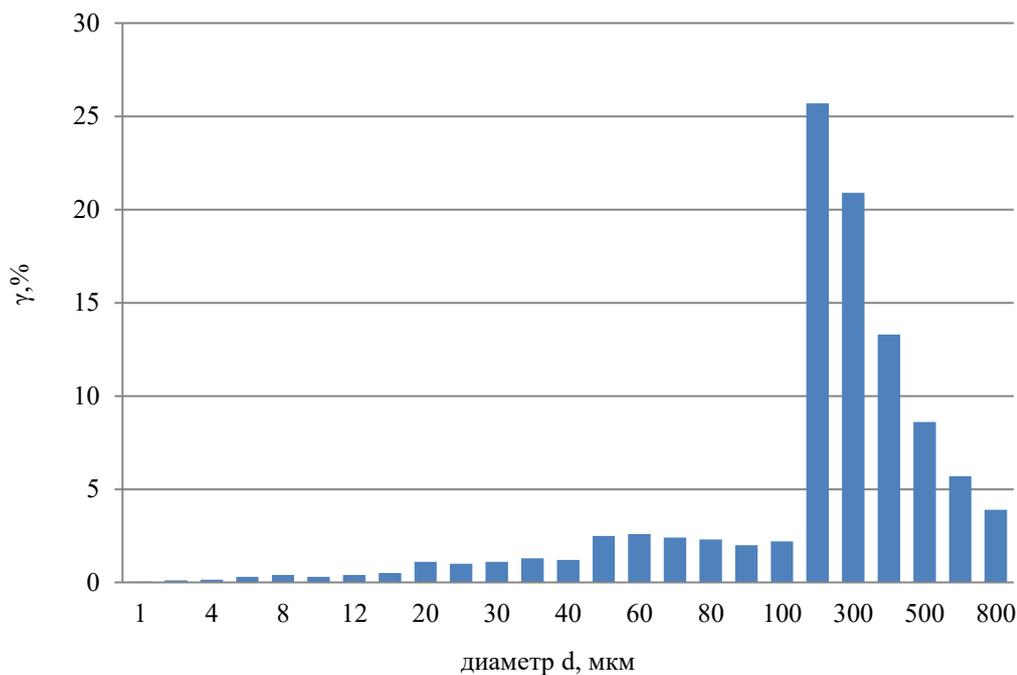


Рисунок 3.5 – Гранулометрический состав осевших пылевых частиц после производства массового взрыва

По результатам лабораторных исследований можно сделать вывод, что пылевые частицы размером менее 10 мкм практически не представлены в проанализированных образцах осевшей пыли, так как частицы данной фракции повторно взметываются даже при малой скорости ветра, а их осаждение занимает длительный период времени.

По результатам натуральных и лабораторных исследований гранулометрического состава пылевого аэрозоля установлено, что в нем присутствует значительное количество пылевых частиц респираторной фракции, а на долю фракции  $PM_{2,5}$ , способной попадать в альвеолы и через газообмен легких в кровь, приходится около 30% от общей массы респираторной фракции. При производстве массовых взрывов происходит значительное увеличение количества частиц пыли и её массовой концентрации. Количество частиц пыли фракции менее 2,5 мкм увеличивается в 5,7-11,8 раз, а фракции 2,5-10 мкм в 4,5-5,6 раз.

### **3.2 Выбор поверхностно-активных веществ и лабораторные исследования их смачивающих свойств**

Подавление выделяемой при производстве массовых взрывов респирабельной фракции пыли, имеет приоритетное значение для снижения пылевой нагрузки на органы дыхания работников горнодобывающих предприятий и повышения их допустимого стажа работы.

Помимо негативного воздействия пыли на работников горнодобывающих предприятий остро стоит вопрос загрязнения окружающей среды промышленными пылевыми аэрозолями [44]. Для сокращения выбросов пылевых частиц, в том числе респирабельной фракции, при производстве массовых взрывов применяют различные способы пылеподавления: орошение взрываемого блока, туманообразование, оптимизацию параметров буровзрывных работ, использование забоек из различных материалов и др., одним из наиболее эффективных является гидрозабойка [12,17].

Для улучшения смачивающих свойств гидрозабойки в ее состав добавляют поверхностно-активные вещества [46]. Известны составы смачивателей, применяемые в качестве гидрозабойки на горнодобывающих предприятиях, Эльфор М, Заслон, а также водные растворы с добавлением неонала АФ 9-12, лаурилсульфата натрия, полиглюкозидов и других ПАВ [9,36,129].

Для достижения наибольшей эффективности применения гидрозабойки с добавлением ПАВ ее состав необходимо определять с учетом свойств взрываемой породы [56,61]. С этой целью в работе были проведены лабораторные исследования, включающие: отбор проб гранитной пыли с карьера «Гавриловский» с помощью пылесборников; лабораторный анализ гранулометрического состава пыли; подготовка навесок гранитной пыли фракции 63 мкм; выбор поверхностно-активных веществ; приготовление растворов смачивателей различной концентрации; а также оценивание их смачивающей способности на подготовленных навесках [109].

Смачивающая способность растворов с добавлением ПАВ определялась временем смачивания навески гранитной пыли методом пленочной флотации. Время смачивания навески гранитной пыли крупностью менее 63 мкм определялось ее высыпанием в воздушно-сухом состоянии в емкость с исследуемым раствором объемом 100 мл<sup>3</sup>. Гранитная пыль, высыпаясь на поверхность водного раствора ПАВ, смачивается и осаждается. Время смачивания определяет эффективность подавления пыли данным раствором. Вода без добавления ПАВ не смачивает гранитную пыль, частицы пыли остаются на поверхности.

Таким образом, ПАВ выбираемые для гидрозабойки, должны обладать следующими свойствами: хорошее смачивание навески гранитной пыли; соответствие вязкостно-температурных свойств условиям применения; отсутствие агрессивных свойств по отношению к резине и металлу; нетоксичность; недефицитность; экономичность применения [33,48,127].

В лабораторных условиях исследовались смачивающие свойства следующих ПАВ:

- 1) Неионогенные: каприлил/каприл глюкозид, кокоглюкозид, децилглюкозид, лаурилглюкозид, ПЭГ-7, ПЭГ-40, ПЭГ-400, Неонол АФ 9-12;
- 2) Анионные: лауретсульфат натрия, лаурилсульфат натрия, триполифосфат натрия, кокосульфат натрия;
- 3) Амфотерные: кокамидопропилбетаин, кокоамфодиацетат натрия;
- 4) Применяемые промышленные смачиватели: Эльфор-М, Заслон.

Смачивающая способность поверхностно-активных веществ зависит от смачиваемой породы, одни и те же вещества показывают различные результаты на различных породах.

Время смачивания навески гранитной пыли весом 10 мг водными растворами с добавлением различных поверхностно-активных веществ представлено в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Время смачивания навески гранитной пыли исследуемыми растворами ПАВ различной концентрации

Вещество	Время смачивания навески пыли при различной концентрации, с				
	1%	0,5%	0,1%	0,05%	0,01%
Каприлил/каприл глюкозид	3,48	4,63	7,50	18,98	69,82
Кокоглюкозид	4,31	6,57	17,51	41,43	55,90
Децилглюкозид	4,35	8,82	12,12	27,70	56,46
Лаурилглюкозид	3,98	5,49	11,34	21,89	29,19
ПЭГ 7	6,93	8,39	11,72	14,14	21,62
ПЭГ 40	29,41	46,28	Н/С	Н/С	Н/С
ПЭГ 400	46,52	101,21	Н/С	Н/С	Н/С
Неонол АФ 9-12	23,51	41,8	82,22	Н/С	Н/С
Лауретсульфат натрия	4,48	6,81	13,55	18,47	27,97
Лаурилсульфат натрия	5,84	6,98	9,12	12,40	Н/С
Триполифосфат натрия	56,97	130,22	Н/С	Н/С	Н/С
Кокосульфат натрия	8,30	18,57	33,61	Н/С	Н/С
Кокомидопропилбетаин	5,62	8,20	16,39	25,02	49,11
Кокоамфодиацетат натрия	4,81	7,87	13,82	64,88	Н/С
Эльфор М	11,51	16,32	21,57	44,71	92,07
Заслон	12,48	19,81	25,49	49,26	Н/С
Разработанный состав	2,95	3,58	6,17	17,31	44,30

При уменьшении концентрации ПАВ в водном растворе до 0,1% и менее происходит резкое увеличение времени смачивания навески гранитной пыли.

На сегодняшний день главным недостатком таких составов, Эльфор-М, Заслон, лаурилсульфат натрия, неонол АФ 9-12, применяемых на карьерах и разрезах для подавления является время смачивания навески гранитной пыли, по сравнению с полиглюкозидами, особенно при концентрациях раствора 0,5-1% [57,61].

В работе [50] установлено, что при применении в составе смачивателя амфотерного ПАВ создается синергетический эффект, улучшающий смачивающие свойства конечного раствора. В рамках диссертационной работы были проведены лабораторные исследования амфотерных ПАВ, кокоамфодиацетата натрия и кокаמידопропилбетаина. Обнаруженная зависимость времени смачивания навески гранитной пыли от концентрации исследуемых амфотерных ПАВ представлена на рисунке 3.6.

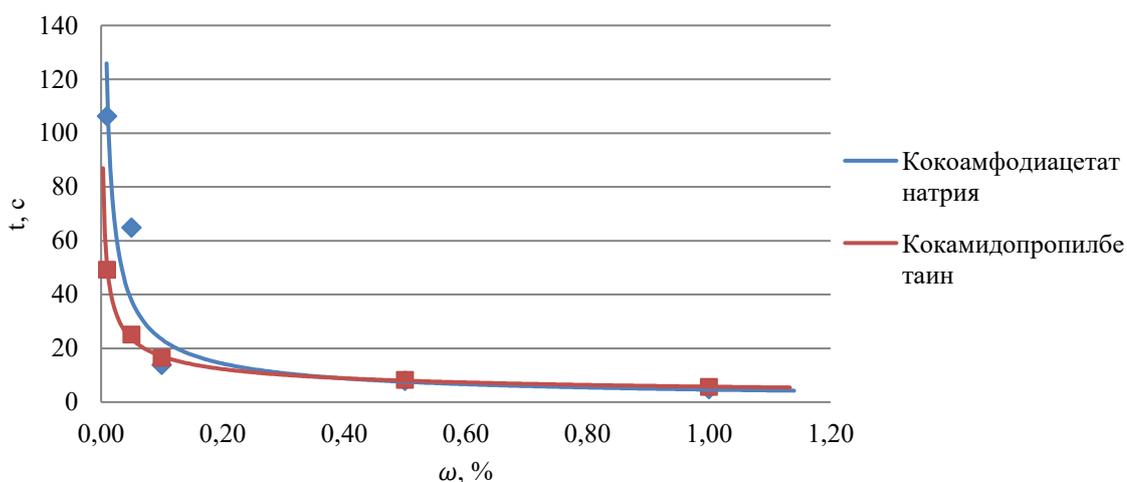


Рисунок 3.6 – Зависимость времени смачивания навески гранитной пыли от концентрации амфотерного поверхностно-активного вещества в растворе

При концентрациях исследуемых ПАВ менее 0,1% кокаמידопропилбетаин показывает лучшую смачивающую способность, однако при концентрациях 0,1% и более кокоамфодиацетат натрия показывает меньшее время смачивания на 4-15%.

Для связывания пылевых частиц, образующихся при производстве массовых взрывов, до осаждения капель раствора смачивателя из пылегазового облака необходимо разработать состав время смачивания навески гранитной пыли которым будет менее 5 секунд [84,106].

В результате проведенных лабораторных исследований был разработан состав смачивателя, для использования в качестве гидрозабойки включающий каприлил/каприл глюкозид и кокоамфодиацетат натрия в соотношении 85:15.

Каприлил/каприл глюкозид – неионогенное поверхностно-активное вещество, эфир глюкозы, получаемый из жирных спиртов и глюкозы растительного происхождения. Выпускается в виде жидкости от бесцветной до желтоватой. Применяется для: снижения поверхностного натяжения воды, смачивания, пенообразования. Он также обладает хорошей щелочной и электролитической устойчивостью и может солюбилизировать другие ингредиенты. Является низкотоксичным и полностью биоразлагаемым продуктом [23,97]. Широко применяется в косметических и бытовых чистящих средствах.

Кокоамфодиацетат натрия – синтетическое амфотерное поверхностно-активное вещество, обычно используемое в продуктах личной гигиены, одно из самых мягких амфотерных ПАВ [34]. Стабилен в широком диапазоне pH, отлично подходит для многих средств личной гигиены, домашнего и промышленного применения. Обладает исключительной способностью снижать раздражающее действие других ПАВ, совместим со всеми видами ПАВ. Представляет собой жидкое вещество светлого цвета, с низкой вязкостью, является загустителем, усиливает пенообразующую способность даже в жесткой и морской воде и при наличии масла.

Для определения процентного соотношения применяемых ПАВ и наиболее эффективной концентрации разрабатываемого состава смачивателя было проведено исследование смачивающей способности водных растворов с добавлением каприлил/каприл глюкозида и кокоамфодиацетата натрия в различных пропорциях и при различной концентрации [19,32].

Составы готовились следующим образом. В лабораторную посуду с дистиллированной водой добавлялся каприлил/каприл глюкозид в необходимом количестве для достижения нужной концентрации и перемешивался до полного разбавления. Далее в раствор вводился кокоамфодиацетат натрия в количестве необходимом для достижения необходимой концентрации и перемешивается до полного разбавления.

Результаты лабораторных исследований времени смачивания водных растворов с добавлением каприлил/каприл глюкозида и кокоамфодиацетата натрия представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Время смачивания навески гранитной пыли исследуемыми комбинированными растворами

№	Компоненты состава гидрозабойки, мас. %				
	Каприлил/капр ил глюкозид	Кокоамфодиацетат натрия	Вода	Концентрация состава, %	Время смачивания, с
1	0,385	0,115	99,5	0,5	3,65
2	0,405	0,095	99,5	0,5	3,61
3	0,425	0,075	99,5	0,5	3,58
4	0,445	0,055	99,5	0,5	3,60
5	0,465	0,035	99,5	0,5	3,62
6	0,255	0,045	99,7	0,3	4,88
7	0,34	0,06	99,6	0,4	4,23
8	0,51	0,09	99,4	0,6	3,48
9	0,595	0,105	99,3	0,7	3,39

Наименьшее время смачивания навески гранитной пыли и как следствие лучшую смачивающую способность показал состав №3, в котором соотношении каприлил/каприл глюкозида и кокоамфодиацетата натрия 85 к 15%. Концентрация разработанного состава равная 0,5% позволяет добиться времени смачивания навески гранитной пыли менее 5 секунд при относительно низкой концентрации ПАВ в растворе. При увеличении концентрации поверхностно-активных веществ на 0,1% уменьшает время смачивания на 2,8%, что незначительно, тогда как при уменьшении концентрации на 0,1% время смачивания увеличивается на 18,2%. Установлена степенная зависимость времени смачивания навески гранитной пыли от концентрации разработанного состава гидрозабойки с коэффициентом корреляции 0,96. Корреляционное уравнение представлено формулой 3.1.

$$t = 2,4\omega^{-0,6}, \quad (3.1)$$

где  $t$  – время смачивания навески гранитной пыли, с;

$\omega$  – концентрация разработанного состава.

На рисунке 3.7 представлена сравнительная характеристика времени смачивания навески гранитной пыли разработанным составом и применяемыми на горнодобывающих предприятиях аналогами при различной концентрации.

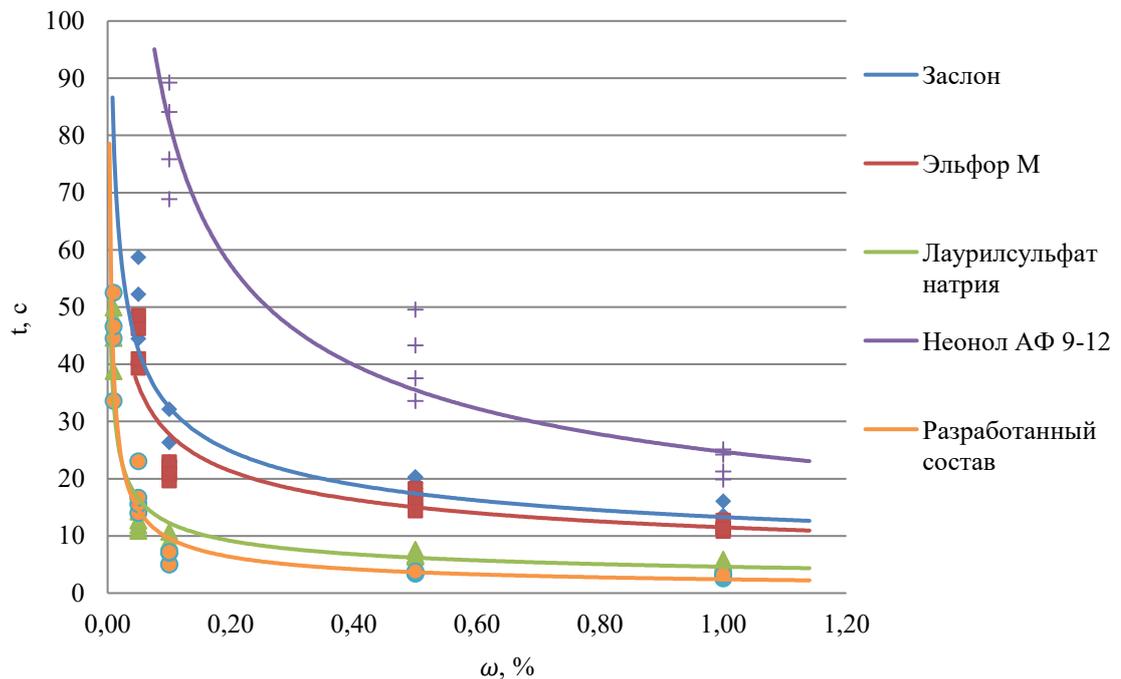


Рисунок 3.7 – Зависимость времени смачивания навески гранитной пыли от концентрации поверхностно-активного вещества в растворе

Научно производственное объединение «Синтез ПАВ» проводило исследования эффективности пылеподавления при производстве массовых взрывов при различном времени смачивания навески взрывающей породы составом гидрозабойки, эффективность определялась массовой концентрацией образующейся после взрыва пыли. Разработанный НПО «Синтез ПАВ» состав гидрозабойки позволяет снизить массовую концентрацию образующейся пыли в 1,8-2,5 раза по сравнению с забойкой из отсева дробильно-сортировочной фабрики [11].

В результате натурных исследований проведенных НПО «Синтез ПАВ» была установлена зависимость массовой концентрации пыли в атмосфере карьера после производства массового взрыва от времени смачивания навески пыли составом гидрозабойки (рисунок 3,8).

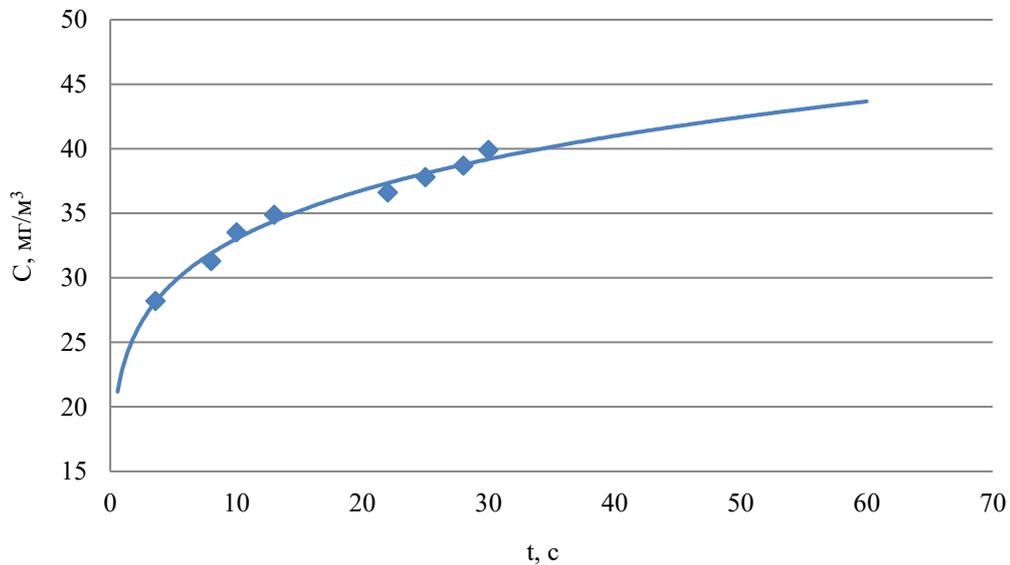


Рисунок 3.8 – Зависимость массовой концентрации пыли от времени смачивания навески составом гидрозабойки

Сравнительный анализ смачивающей способности водного раствора с добавлением каприлил/каприл глюкозида и кокоамфодиацетата натрия с аналогами установил, что при концентрации 0,5% время смачивания навески гранитной пыли разработанным составом меньше в 1,9 раза по сравнению с составом с добавлением лаурилсульфата натрия и в 4,5-11,5 раз меньше по сравнению с промышленными смачивателями Заслон, Эльфор-М и составом с добавлением неонола АФ 9-12.

Применение разработанного состава смачивателя в качестве гидрозабойки скважин позволит снизить массовую концентрацию выделяемых пылевых частиц при производстве массового взрыва в 1,9-2,5 раза по сравнению с забойкой из отсева дробильно-сортировочной фабрики.

### 3.3 Анализ пылеподавляющих свойств снега

При отрицательных температурах применение пылесвязывающих водных растворов, ограничено замерзанием воды, что требует

дополнительных затрат на добавление компонентов с низкой температурой замерзания, например этанола. Для улучшения условий труда по пылевому фактору в период отрицательных температур необходимо применять пылесвязывающие вещества, устойчивые к отрицательным температурам, которые будут способны связывать пылевые частицы и обладать схожими свойствами с пылеподавляющими растворами на водной основе [7]. Всеми этими свойствами обладает снег, который предлагается применять на взрываемом блоке при отрицательных температурах, поскольку он является доступным и простым в использовании пылесвязывающим компонентом.

Подавление пыли снегом осуществляется за счет адгезии пылевых частиц к ледяной поверхности: частицы пыли притягиваются к отдельным снежинкам, увеличивают их массу и оседают вместе с ними [4].

Важными параметрами снега, влияющими на эффективность подавления пыли, являются развитая пористость его поверхности, относительная влажность и средний диаметр снежинок. Снежинки во время осаждения из воздуха в зоне пылеподавления выполняют не только фильтрующую, но и экранирующую функцию. Благодаря им можно полностью изолировать источник пылевыделения.

Удельная поверхность снега напрямую зависит от пористости, что играет решающую роль в снижении расхода снега и повышении эффективности подавления пылевых частиц.

Пористость снега, определяющая эффективность подавления пыли снежным покровом, напрямую зависит от плотности, чем ниже плотность, тем выше пористость.

На основе геометрической структуры снежинки, учитывая формы и размеры кристаллов, а также способ их укладки, можно примерно определить плотность искусственного снега. Согласно исследованиям [2,3], известно, что плотность естественного снега может быть ниже  $100 \text{ кг/м}^3$ , а плотность искусственного снега менее  $300 \text{ кг/м}^3$ . Это объясняется

хаотическим соединением снежных кристаллов, которое ведет к образованию большого количества полостей в естественном снеге.

Плотность и пористость естественного снега могут значительно отличаться, а также меняться со временем, их значения для различного снега представлены в таблице 3.5 [98].

Таблица 3.5 – Плотность и пористость естественного снежного покрова

	Вид снега	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Пористость
Свежий снег	«дикий» (рыхлый, пушистый)	10-30	0,99-0,97
	порошкообразный	30-60	0,97-0,93
	слабо уплотненный ветром	60-100	0,93-0,89
	сильно уплотненный ветром	100-300	0,89-0,67
Старый снег	снег-плавун	200-300	0,78-0,67
	сухой осевший	200-400	0,78-0,56
	мокрый осевший	400-550	0,56-0,50
	сухой фирнизированный	400-700	0,56-0,24
	мокрый фирнизированный	600-800	0,50-0,20

При отсутствии естественного снежного покрова для подавления пыли, можно использовать снегогенераторы, которые позволяют получить нужное количество снега.

Существует три основных способа получения искусственного снега:

1. Гидравлическое распыление воды;
2. Пневмогидравлическое распыление воды в потоке сжатого воздуха;
3. Пневмогидравлическое распыление воды в потоке сжатого воздуха низкого давления.

Первый используется для намораживания льда плотностью 500 кг/м<sup>3</sup> [40]. Вторым применяется для создания лыжных трасс и предотвращения промерзания грунта [76]. Данный способ требует значительных капитальных вложений, отличается высоким энергопотреблением и требует использования сжатого воздуха высокого давления не менее 0,9 МПа.

Наиболее подходящим для создания искусственного снега на промышленных предприятиях является третий способ, так как он требует использования воздуха под низким давлением. При невозможности задействовать сжатый воздух можно применять гидравлическое распыление воды для генерирования искусственного снега. Особенностью искусственного снега является его плотность, которая напрямую зависит от химического состава используемой воды [13].

Количество частиц пыли, осевших на поверхности каждой снежинки, может быть определено путем деления площади, оконтуренной пылевыми частицами, на квадрат диаметра пылинки по формуле 3.2.

$$N = \frac{\eta(d_c - d_n)^2}{d_n^2}, \quad (3.2)$$

где  $d_c$  – диаметр снежинки, мкм;

$d_n$  – диаметр пылевых частиц, мкм;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий конфигурацию снежинок (шарообразная  $\eta = 3,14$ , кубическая  $\eta = 6$ ).

Формула 3.3. для вычисления удельного расхода снега, требуемого для удерживания взвешенных частиц пыли.

$$q = \frac{V_c}{V_n \gamma_n}, \quad (3.3)$$

где  $\gamma_n$  – плотность пылевых частиц, мг/см<sup>3</sup>;

$V_c$  – объем снежинок, см<sup>3</sup>;

$V_n$  – суммарный объем пылинок, улавливаемых поверхностью одной снежинки, см<sup>3</sup>.

Объемы снежинки вычисляется по формуле 3.4.

$$V_c = 0,5236 \cdot d_c^3 \quad (3.4)$$

Объем пылевой частицы вычисляются по формуле 3.5.

$$V_c = 0,5236 \cdot d_c^3 \cdot N_n \quad (3.5)$$

Предположим, что изначально у снежинки был объем  $V_c$ , а ее плотность была  $\gamma_c$ . При взаимодействии с частицами пыли плотность снежинки

становится больше до  $\gamma_\gamma$ . Тогда объем, занимаемый снегом, без учета пылевых частиц находится по формуле 3.6.

$$V_\gamma = \frac{V_c \cdot \gamma_c}{\gamma_\gamma} \quad (3.6)$$

Таким образом, мы можем определить объем, занимаемый пылевыми частицами по формуле 3.7.

$$V_\chi = \frac{V_c(\gamma_\gamma - \gamma_c)}{\gamma_\gamma} \quad (3.7)$$

Количество пылевых частиц, в составе снежинки может быть вычислено по формуле 3.8.

$$N_\chi = \frac{V_\chi}{V_\Pi} \quad (3.8)$$

Удельный расход снега, необходимый для улавливания выделяемых пылевых частиц рассчитывается по формуле 3.9.

$$q = \frac{V_c \cdot c}{N_\chi \cdot V_\Pi} \quad (3.9)$$

При определении удельного расхода снега, необходимого для подавления образующихся пылевых частиц, учитываются, как осевшие частицы пыли на поверхности, так и проникшие в поры снежинок.

Удельный расход снега для условий карьера «Гавриловский» составит 0,68-1,12 мг/мг при средних размерах снежинок 100 мкм (плотность 400 кг/м<sup>3</sup>) и средних размерах пылевых частиц 10 мкм (плотность 2700 кг/м<sup>3</sup>).

### **3.4 Влияние мощности снежного покрова на массовую концентрацию респирабельной фракции пыли**

Анализ пылевой обстановки на гранитном карьере «Гавриловский» показал, что в условиях отрицательных температур воздуха запыленность на горнодобывающем предприятии меньше, чем в летний период [59].

В период отрицательных температур, при массовом взрыве в январе 2022 года, количество пылевых частиц респирабельной фракции было значительно меньше, чем при аналогичном массовом взрыве в августе 2022 года, что объясняется наличием естественного снежного покрова на взрываемом блоке.

С целью оценки эффективности подавления респираторной фракции пыли снежным покровом применяемом на взрываемом блоке при производстве массовых взрывов, были проведены дополнительные натурные исследования запыленности воздуха вблизи взрываемого блока после производства массового взрыва на карьере «Гавриловский» при различной мощности снежного покрова.

Результаты натурных исследований количества частиц пыли респираторной фракции были проведены в декабре 2022 года при мощности естественного снежного покрова 15 см, представлены в таблице 3.6.

Таблица 3.6 – Количество пылевых частиц респираторной фракции, образованных при производстве массового взрыва в декабре 2022 года

Размер частиц, мкм	Расположение точки замера, м					
	до взрыва	10	20	30	40	50
0,3	8726	41221	13628	9730	8501	7074
0,5	1421	15714	4869	4111	2856	2620
1	287	2478	1134	827	520	589
2,5	27	219	105	63	63	69
5	6	31	40	13	10	20
10	3	10	13	8	10	8

При производстве массового взрыва с мощностью естественного снежного покрова 15 см снизилось количество пылевых частиц респираторной фракции, однако не так значительно как при 20 см.

Естественный снежный покров мощностью 25 см незначительно более эффективно подавляет респираторную фракцию пыли при производстве массовых взрывов, чем снежный покров мощностью 20 см. Таким образом, применение снежного покрова на взрываемом блоке мощностью более 20 см не приводит к значительному повышению эффективности подавления респираторной фракции пыли.

Натурные исследования количества частиц пыли респираторной фракции с мощностью естественного снежного покрова 25 см были проведены в январе 2023 года, результаты представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Количество частиц пыли респираторной фракции, образованных при производстве массового взрыва в январе 2023 года

Размер частиц, мкм	Расположение точки замера, м						
	до взрыва	10	20	30	40	50	60
0,3	167425	124020	37373	127200	14267	34120	39371
0,5	54451	31537	9855	36756	4072	9798	11578
1	8845	3584	1378	5139	571	1201	1876
2,5	932	371	144	487	49	133	207
5	153	58	42	57	14	34	21
10	52	15	15	20	3	14	8

В феврале 2023 года были проведены натурные исследования количества частиц пыли респираторной фракции при мощности естественного снежного покрова 10 см, результаты представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Количество частиц пыли респираторной фракции, образованных при производстве массового взрыва в феврале 2023 года

Размер частиц, мкм	Расположение точки замера, м					
	10	20	30	40	50	60
0,3	7074	13628	8501	9730	41221	79694
0,5	2620	4869	2856	4111	15714	32063
1	589	1134	520	827	2478	4698
2,5	69	105	63	63	219	417
5	20	40	10	13	31	59
10	8	13	10	8	10	25

Натурные исследования количества частиц пыли респираторной фракции были проведены в марте 2023 года при мощности естественного снежного покрова 5 см, результаты представлены в таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Количество частиц пыли респираторной фракции, образованных при производстве массового взрыва в марте 2023 года

Размер частиц, мкм	Расположение точки замера, м						
	10	20	30	40	50	60	70
0,3	167425	124020	37373	127200	14267	34120	39371
0,5	54451	31537	9855	36756	4072	9798	11578
1	8845	3584	1378	5139	571	1201	1876
2,5	932	371	144	487	49	133	207
5	153	58	42	57	14	34	21
10	52	15	15	20	3	14	8

Мощность снежного покрова 10 см и 5 см не позволяет добиться значительного снижения респираторной фракции пыли.

Для определения эффективности подавления респираторной фракции пыли снежным покровом, наносимым на взрывааемый блок, необходимо рассчитать массовую концентрацию респираторной фракции пыли по количеству частиц определенным в результате натурных исследований.

Массовая концентрация респираторной фракции пыли была рассчитана на основе результатов натурных и лабораторных исследований. Для этого учитывалось количество частиц и их аэродинамический диаметр. С помощью этих данных можно определить массовую концентрацию каждой фракции пыли в мг/м<sup>3</sup>. Для расчета массы пылевой частицы диаметром  $d$ , с истинной плотностью  $\rho$ , была применена формула 3.10:

$$m_i = \frac{\pi \cdot d^3 \cdot \rho_i}{6}, \quad (3.10)$$

где  $d$  – аэродинамический диаметр частицы, м;

$\rho$  – истинная плотность частицы, кг/м<sup>3</sup>.

Для определения массовой концентрации респираторной фракции пыли была применена формула 3.11.

$$C = N_1 \cdot m_1 + N_2 \cdot m_2 + N_3 \cdot m_3, \quad (3.11)$$

где  $m_i$  – средние массы частиц каждой фракции пыли, кг;

$N_i$  – счетная концентрация частиц для каждой фракции, шт.

С помощью указанных выше формул, была рассчитана массовая концентрация респираторной фракции пыли на расстоянии 10-50 м до взрывающегося блока (таблица 3.10).

По данным, представленным в таблице 3.10, установлена экспоненциальная зависимость массовой концентрации респираторной фракции пыли от мощности снежного покрова на взрывающемся блоке с корреляционным отношением 0,77 (рисунок 3.9). Корреляционное уравнение представлено формулой (3.12).

$$C_{10} = 0,05e^{-0,03h}, \quad (3.12)$$

где  $C_{10}$  – массовая концентрация частиц пыли фракции  $PM_{10}$ ,  $mg/m^3$ ;

$h$  – мощность снежного покрова на взрывающемся блоке, см.

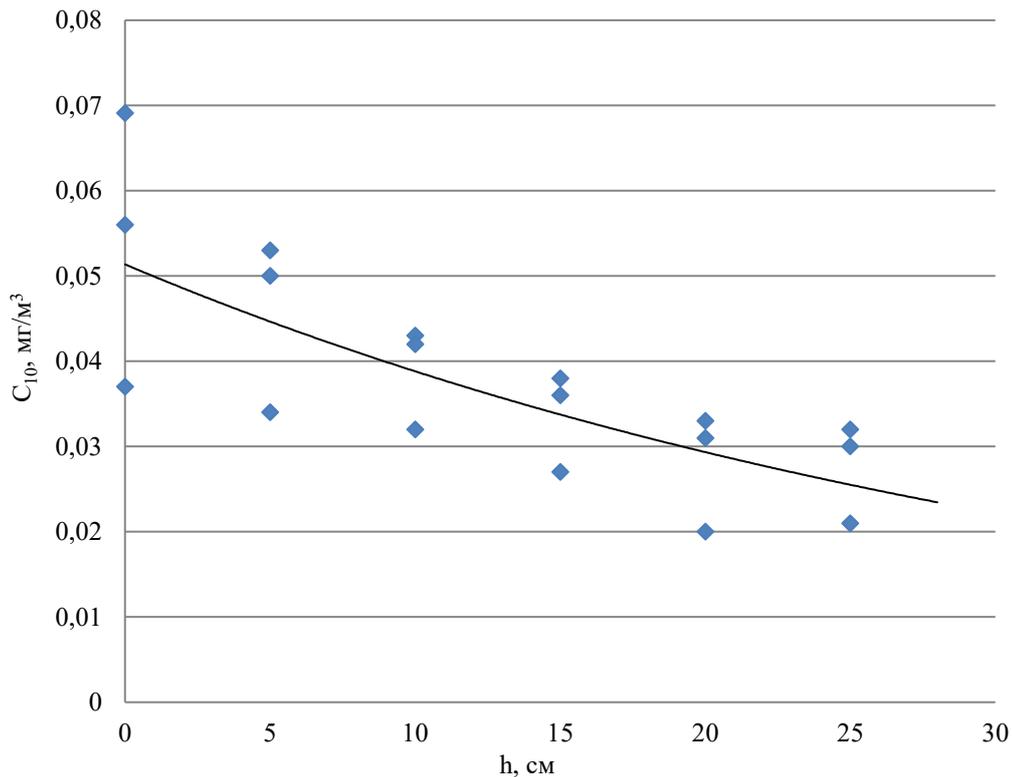


Рисунок 3.9 – Зависимость снижения массовой концентрации респираторной фракции пыли от мощности снежного покрова

Таблица 3.10 – Результаты натурных исследований массовой концентрации респирабельной фракции пыли

Снежный покров, см	Сезон	Массовая концентрация, мг/м <sup>3</sup>											
		До взрыва		10 м		20 м		30 м		40 м		50 м	
		PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>10</sub>
20	Зима, январь, 2022	0,002	0,007	0,011	0,033	0,005	0,031	0,004	0,020	0,003	0,018	0,002	0,013
0	Лето, август, 2022	0,003	0,014	0,030	0,069	0,024	0,056	0,008	0,037	0,008	0,034	0,010	0,031
15	Зима, декабрь, 2022	0,002	0,009	0,011	0,038	0,008	0,036	0,004	0,027	0,004	0,023	0,003	0,016
25	Зима, январь, 2023	0,002	0,007	0,010	0,032	0,005	0,030	0,004	0,021	0,003	0,021	0,002	0,013
10	Зима, февраль, 2023	0,002	0,009	0,013	0,043	0,008	0,042	0,004	0,032	0,003	0,025	0,003	0,017
5	Весна, март, 2023	0,003	0,012	0,025	0,053	0,021	0,050	0,013	0,034	0,011	0,034	0,010	0,026

Для подтверждения достоверности методики прогнозирования гранулометрического состава респираторной фракции пыли, образующейся при производстве массовых взрывов, было проведено сравнение теоретических, натуральных и лабораторных исследований.

Массовое распределение частиц пыли респираторной фракции, установленное в результате теоретических исследований с использованием законов распределения, натуральных и лабораторных исследований, представлено в таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Распределение респираторных частиц пыли по массе

Класс крупности частиц d, мкм		0,3	0,3-0,5	0,5-1	1-2,5	2,5-5	5-10
Процентное содержание по γ массе, %	Замер 1	1,4	2,5	4,4	8,9	18,3	64,5
	Замер 2	2,4	4,2	6,2	9,3	16,5	61,4
	Замер 3	5,9	7,5	8,1	13,2	17,2	48,1
	Замер 4	4,8	7,1	8,5	12,5	19,1	48,0
	Замер 5	3,1	5,6	5,9	8,8	18,2	58,4
	Замер 6	1,3	2,8	3,9	7,5	19,2	65,3
	Лабораторное исследование	0,3	0,8	2,2	8,6	15,5	72,6
	Swebrec	48,9	4,8	7,6	12,5	11,8	14,4
	Розина - Рамллера	2,1	1,6	4,2	13,8	24,9	53,4
	Логнормальное Менжулин	39,3	5,7	9,1	15,0	14,0	16,9
	Логнормальное Замышляев	8,2	3,6	7,5	17,9	23,8	39,0

По данным натуральных исследований массового распределения частиц пыли установлено, что при замерах 1 и 6 содержание фракции  $PM_{2,5}$  от общего количества исследованной пыли составляет 17,2 и 15,5% соответственно, что объясняется наличием естественного снежного покрова мощностью 20-25 м, тогда как при замере 3 и 4, без применения способов

пылеподавления либо с применением естественного снежного покрова незначительной мощности, оно составляет 34,7 и 32,9% соответственно. Применение снежного покрова позволяет наиболее эффективно подавлять мельчайшие частицы пыли размером менее 2,5 мкм. При лабораторном анализе осажденных пылевых частиц установлено, что содержание фракции  $PM_{2,5}$  от общего количества частиц респираторной фракции пыли составляет 11,9%, что обуславливается их длительным временем осаждения и повторным взметывания.

На рисунке 3.10 представлены результаты натуральных и лабораторных исследований гранулометрического состава частиц пыли респираторной фракции.

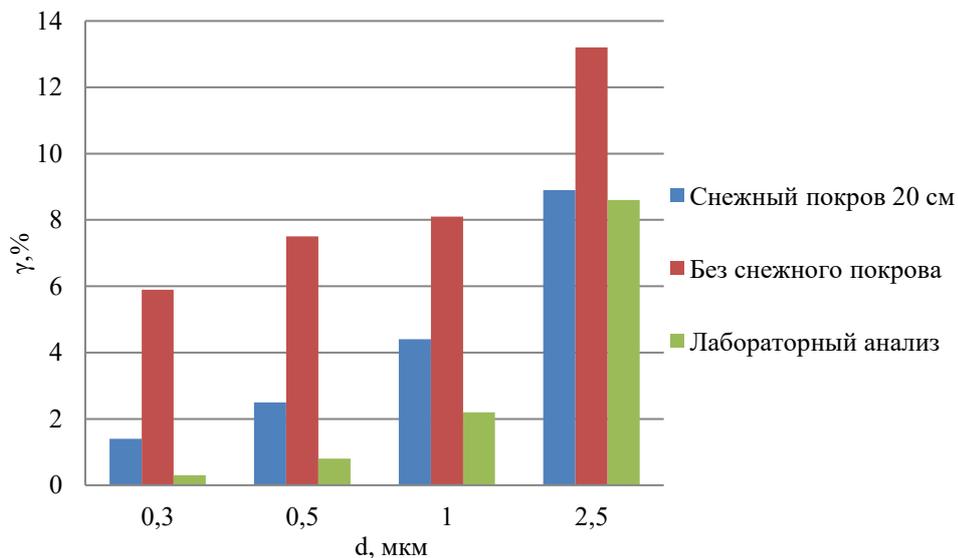


Рисунок 3.10 – Массовое распределение фракции пыли  $PM_{2,5}$  от общей массы респираторной фракции  $PM_{10}$ .

Таким образом, в ходе натуральных исследований было выявлено, что снижение массовой концентрации выделяемой респираторной фракции пыли в 1,8-2,1 раза можно достичь, применяя снежный покров мощностью не менее 20 см на взрываемом блоке при производстве массовых взрывов. Наиболее эффективно снежный покров подавляет частицы пыли способные попадать в альвеолы и через газообмен легких в кровь, размер которых менее 2,5 мкм.

### 3.5 Выводы по главе 3

1. Исследования гранулометрического состава пыли показали, что при проведении массовых взрывов на карьере «Гавриловский» в пылевом аэрозоле присутствует значительное количество пылевых частиц респирабельной фракции, а на долю фракции  $PM_{2,5}$ , способной попадать в альвеолы и через газообмен легких в кровь, приходится около 30% от массы респирабельной фракции.

2. Натурными исследованиями на карьере «Гавриловский» установлено, что при производстве массовых взрывов происходит повышение массовой концентрации респирабельной фракции пыли в 5 раз и более.

3. Установлено, что широко применяемые на горнодобывающих предприятиях пылеподавляющие составы с добавлением поверхностно-активных веществ не обладают достаточной смачивающей способностью, особенно при низких концентрациях.

4. В ходе лабораторных исследований смачивающей способности ПАВ разработан состав гидрозабойки, включающий каприлил/каприл глюкозид и кокоамфодиацетат натрия, при концентрации которого 0,5% время смачивания навески гранитной пыли ниже в 2-11 раз по сравнению с применяемыми аналогами.

5. В результате натуральных испытаний выявлено, что использование снежного покрова на взрываемом блоке мощностью не менее 20 см при производстве массовых взрывов приводит к снижению массовой концентрации, выделяемой респирабельной фракции пыли более чем в 2 раза.

6. Для достижения наибольшей эффективности подавления респирабельной фракции пыли расход снега, применяемого для пылеподавления, необходимо определять в зависимости от его плотности и пористости.

## ГЛАВА 4 РАЗРАБОТКА РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО ПОДАВЛЕНИЮ РЕСПИРАБИЛЬНОЙ ФРАКЦИИ ПЫЛИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МАССОВЫХ ВЗРЫВОВ

### 4.1 Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли

Для прогнозирования доли респираторной фракции в пылевом аэрозоле предложена методика расчета ее гранулометрического состава, учитывающая параметры буровзрывных работ и физико-механические свойства взрывающей породы. Она позволяет прогнозировать гранулометрический состав респираторной фракции пыли с использованием логарифмически-нормального закона распределения (2.1), где среднеквадратическое распределение рассчитывается по формуле предложенной Замышляевым Б.В. (2.14). Прогнозирование гранулометрического состава респираторной фракции пыли с использованием данного закона распределения являются наиболее достоверным, что подтверждается сравнением с результатами натурных и лабораторных исследований.

С использованием предложенной методики была разработана программа для прогнозирования гранулометрического состава частиц образованных при производстве массовых взрывов. Получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2022663908 «Программа для определения гранулометрического и дисперсного состава частиц, образованных в результате массового взрыва» [86].

Раздел ввода данных разработанной программы для прогнозирования гранулометрического состава пылевых частиц, при производстве массовых взрывов представлен на рисунке 4.1.

Входные данные		
Символ	Наименование	Значение
B	Линия сопротивления по подошве (ЛСПП), м.	4,5
S	Расстояние между скважинами, м.	4,5
d	Диаметр скважины, мм.	144
W	Отклонение бурения, м/м.	0,05
H	Высота уступа, м.	12,48
BCL	Перебур, м.	1
L	Полная длина заряда, м.	11,58
Qt	Температура взрыва, кДж/кг.	4300
Xmax	Максимальный предполагаемый размер куска, м.	1500
T	Температура плавления породы, С.	1250
mвв	Масса ВВ для проведения одного массового взрыва, кг.	37185
NF	Жесткость породы, ГПа.	26
г	Плотность породы, кг/м3	2700
JPA	Угол падения трещин в вертикальном плане	30
JPS	Расстояние между трещинами в вертикальном плане	20
RMD	Характеристика массива	20
E	Модуль деформации породы, ГПа.	61,72
σск	Прочность породы на сжатие	130
mск	Масса ВВ в скважине, кг.	247,9
гВВ	плотность ВВ	1100

Рисунок 4.1 – Входные данные для работы программы

Прогнозирование гранулометрического состава частиц образующихся в результате производства массового взрыва с использованием разработанной программы представлено на рисунке 4.2.

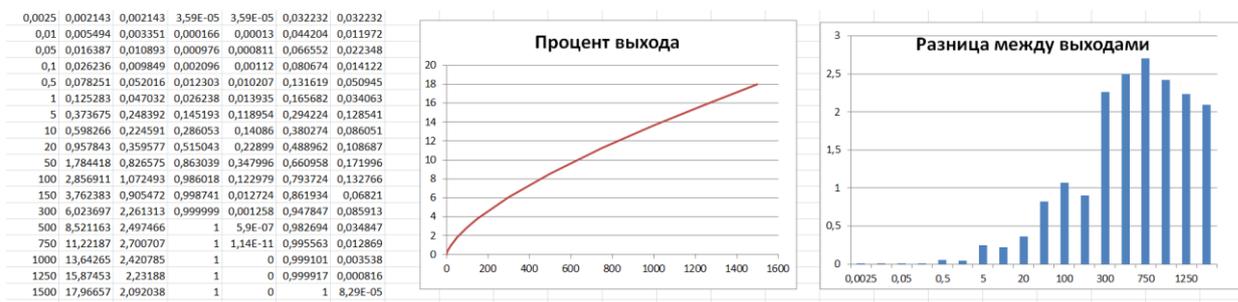


Рисунок 4.2 – Пример расчета гранулометрического состава образующихся пылевых частиц разработанной программой

## 4.2 Технологическая схема пылеподавления снежным покровом при отрицательных температурах

В диссертационной работе в качестве одного из основных способов подавления пылевых частиц респираторной фракции, образующихся в результате производства массовых взрывов, при отрицательных температурах предлагается использовать снежный покров, наносимый на взрывааемый блок.

В 2022 и 2023 году были проведены натурные исследования эффективности подавления респирабельной фракции пыли снежным покровом. Исследования проводились на карьере «Гавриловский» поселок Гаврилово, Ленинградская область (рисунок 1.14, 1.15).

Исходя из результатов натурных исследований, можно рекомендовать снежный покров для связывания пылевых частиц образующихся при производстве массовых взрывов. Снежный покров следует формировать турбинными снегоочистителями или снегогенераторами на взрываемом блоке, мощность снежного покрова должна быть прямо пропорциональна массовой концентрации выделяемой респирабельной фракции пыли.

Равномерность распределения снежного покрова на взрываемом блоке, плотность, пористость и пылеобразующая способность взрываемых пород влияют на эффективность пылеподавления. При определении расхода снега на формирование снежного покрова необходимо учитывать его пористость, плотность и средний размер пылевых частиц.

Подавление пыли за счет применения снежного покрова на взрываемом блоке достигается выполнением ряда технологических операций.

На первом этапе осуществляется сбор снега при помощи снегоуборочной техники предприятия. На карьере «Гавриловский» используются турбинные снегоочистители ЕМ-800 (таблица 4.1).

Снегоочистители производят уборку снега, доставляя его в карьерные автосамосвалы, двигаясь по периметру предприятия, включая прилегающую территорию и карьерные автодороги.

Собранный снег для дальнейшего хранения транспортируется карьерными автосамосвалами на склад, расположенный в двухстах метрах от взрываемого блока.

Снег загружается в автосамосвалы снегоочистителями и транспортируется на прилегающую территорию к взрываемому блоку. Турбинный снегоочиститель наносит снег необходимой мощности на взрываемый блок.

Таблица 4.1 – Технические характеристики турбинного снегоочистителя ЕМ-800

Технические характеристики	
Базовый трактор	МТЗ-80/82УК
Мощность двигателя, кВт/л.с.	60/81
Максимальная транспортная скорость, км/ч не более	20
Рабочая скорость на первой передаче ходоуменьшителя при включенном понижающем редукторе, км/ч	0-0,5
Частота вращения ВОМ трактора, об/мин	1000
Производительность по массе (при плотности снега 0.5т/м <sup>3</sup> ), т/ч	250
Дальность отброса основной массы снега (при плотности снега 0.5 т/м <sup>3</sup> ), м	15-40
Ширина захвата, мм	2300
Наибольшая высота убираемого валка снега, м	1,0
Максимальная плотность убираемого снега, т/м <sup>3</sup>	0,6
Максимальная высота погрузки в транспортное средство, м	3,1
Навесной рабочий орган	
Привод рабочего органа	гидравлический
Диаметр ротора, мм	800
Максимальная частота вращения ротора, об/мин	400
Углы наклона направляющего патрубка кожуха турбины от вертикальной оси	
Вправо, град	55
Влево, град	35
Масса рабочего органа, кг	980
Масса снегоочистителя эксплуатационная, кг	6000
Габаритные размеры трактора с установленным оборудованием	
Длина, мм	4150
Ширина, мм	2300
Высота, мм	2760

При отрицательных температурах в отсутствие достаточного количества снега для формирования снежного покрова необходимой

мощности предлагается применять снегогенераторы Northwind-450 (таблица 4.2). Снегогенераторы работают в диапазоне температур от -2 до -25 °С.

Таблица 4.2 – Технические характеристики снегогенератора Northwind-450

Технические характеристики	
Диапазон рабочих температур, °С	От -2 до -25
Масса снегогенератора, кг	540
Количество снегообразующих форсунок	27
Максимальное потребление электроэнергии, кВт·ч	18
Дальность выброса снега, м	35-50
Потребление воды, литр/мин	28-444
Максимальная производительность снега плотностью 400 кг/м <sup>3</sup> , м <sup>3</sup> /ч	66,7
Габаритные размеры трактора с установленным оборудованием	
Длина, мм	1700
Ширина, мм	1200
Высота, мм	1850

Разработанная технологическая схема применения снежного покрова при производстве массовых взрывов на карьере «Гавриловский» представленная на рисунке 4.3, отличается простотой реализации, включает в себя операции сбора, хранения, транспортировки и нанесения снежного покрова на взрываемый блок.

Технологическая схема применения снежного покрова позволяет снизить выделения частиц пыли респирабельной фракции при производстве массового взрыва в 2,1 раза.

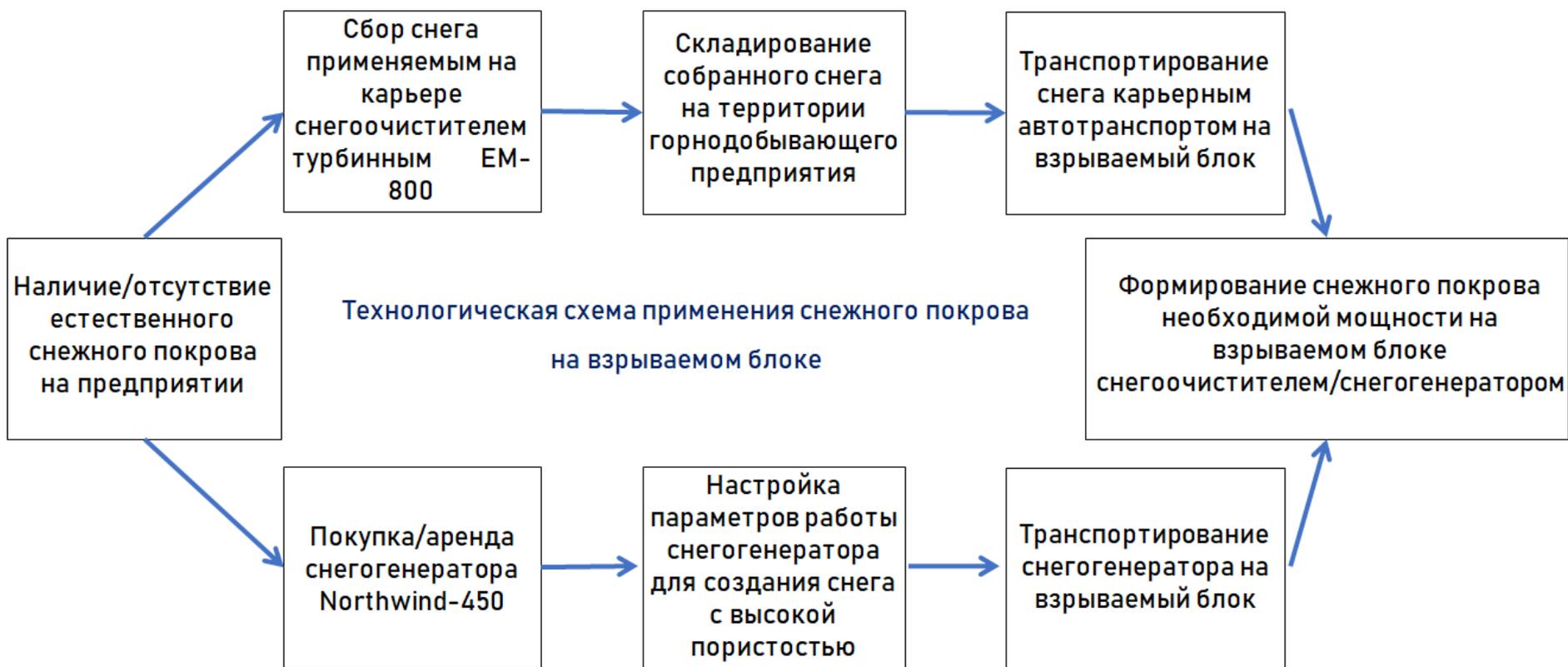


Рисунок 4.3 – Предлагаемая технологическая схема применения снежного покрова на взрываемом блоке при производстве массовых взрывов

### **4.3 Технологическая схема производства и применения предложенного состава гидрозабойки при положительных температурах**

Для подавления пыли, выделяемой при добыче полезных ископаемых на карьерах и разрезах, применяют водные пылесвязывающие растворы смачивателей. Растворы смачивателей могут использоваться для орошения карьерных автодорог, забоев экскаваторов, отвалов горной массы, взрывааемых блоков и в качестве гидрозабойки взрывааемых скважин [62].

В 2023 году были проведены лабораторные исследования смачивающей способности различных ПАВ и их комбинаций при различной концентрации на навесках гранитной пыли карьера «Гавриловский», поселок Гаврилово, Ленинградская область.

В результате лабораторных исследований был разработан состав с наименьшим временем смачивания гранитной пыли. Вода без добавления ПАВ не смачивает мельчайшие частицы гранитной пыли, которые остаются на поверхности. Смачивание частиц водными растворами осуществляется за счет адгезии, ПАВ снижают поверхностное натяжение молекул воды и повышают адгезионные свойства, частицы водного раствора быстрее прикрепляются к частицам пыли, повышают ее массу и осаждают [115].

Разработанный состав смачивателя может применяться для подавления пыли при различных технологических процессах, однако в данной работе предлагается применять его в качестве гидрозабойки скважин, так как время смачивания частиц пыли раствором смачивателя менее 5 секунд необходимо именно в данном технологическом процессе [49].

Эффективность пылеподавления зависит не только от концентрации ПАВ в растворе и времени смачивания навески гранитной пыли, но и от технологии приготовления раствора, его применения в скважине, а также от температурных условий. При отрицательных температурах для применения разработанного смачивателя в его состав необходимо добавлять вещества с низкой температурой замерзания, например этанол.

Снижение массовой концентрации респираторной фракции пыли при производстве массовых взрывов с применением разработанного состава смачивателя в качестве гидрозабойки достигается выполнением ряда технологических операций. На первом этапе осуществляется закупка компонентов для производства смачивателя. Разработанный состав смачивателя состоит из 3-х компонентов: каприлил/каприл глюкозид, кокоамфодиацетат натрия и вода. В таблице 4.3 представлены основные характеристики компонентов смачивателя.

Таблица 4.3 – Основные характеристики компонентов смачивателя

№ п/п	Наименование свойства	Кокоамфодиацетат натрия	Каприлил/каприл глюкозид	Вода
1.	Внешний вид	Светло-желтая жидкость		Бесцветная жидкость
2.	Запах	Слабый характерный		Без запаха
3.	Молярная масса, г/моль	480,55	336,82	18,02
4.	Плотность, г/мл	1,17	1,15-1,17	1
5.	Содержание активного вещества, %	48,2	50	0
6.	Значение pH (10% раствора при 20 °C)	8-10	11-12,5	7-9
7.	Вязкость (20 °C) МПа.с	4000-5000	2000-4000	1
8.	Степень полимеризации	1,5-1,7	1,3-1,5	-
9.	Биоразлагаемость, %	98-99,9		100

Второй этап – смешивание компонентов для производства смачивателя, осуществляется в смесительно-зарядной машине СЗМ-16, применяемой на карьере «Гавриловский» (таблица 4.4).

Таблица 4.4 – Технические характеристики смесительно-зарядной машины СЗМ-16

Технические характеристики	
Грузоподъемность общая, т	16
Количество различных компонентов	5
Максимальная производительность зарядания скважин, кг/мин	300
Обводненность скважин	любая
Шасси	КАМАЗ 6520
Колесная формула	6х4
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до + 40

Для производства разработанного состава смачивателя использующегося для применения в качестве гидрозабойки скважин была разработана технологическая схема его изготовления, включающая дозирование компонентов и их смешивание в смесительно-зарядной машине [63].

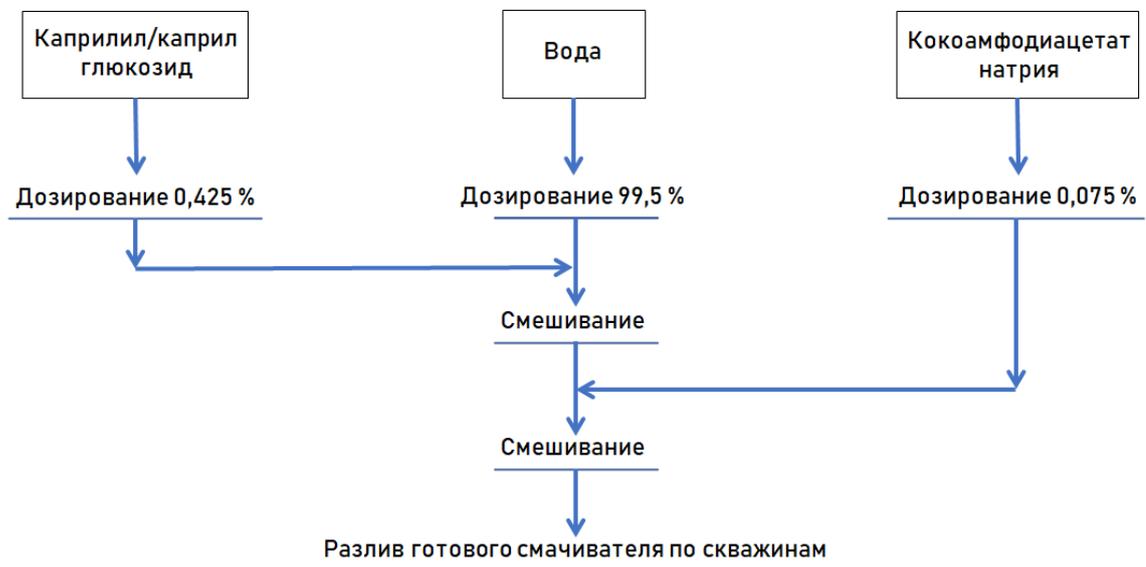


Рисунок 4.4 – Предлагаемая технологическая схема производства смачивателя в смесительно-зарядной машине

Третий этап, после производства состава смачивателя в смесительно-зарядной машине, раствор разливается по гидроампулам, установленным в

скважинах, которые представляют собой рукава из полиэтилена высокого давления (рисунок 4.5).



Рисунок 4.5 – Гидроампула для гидрозабойки

Конструкция скважинного заряда на карьере «Гавриловский» с применением гидрозабойки представлена на рисунке 4.6.

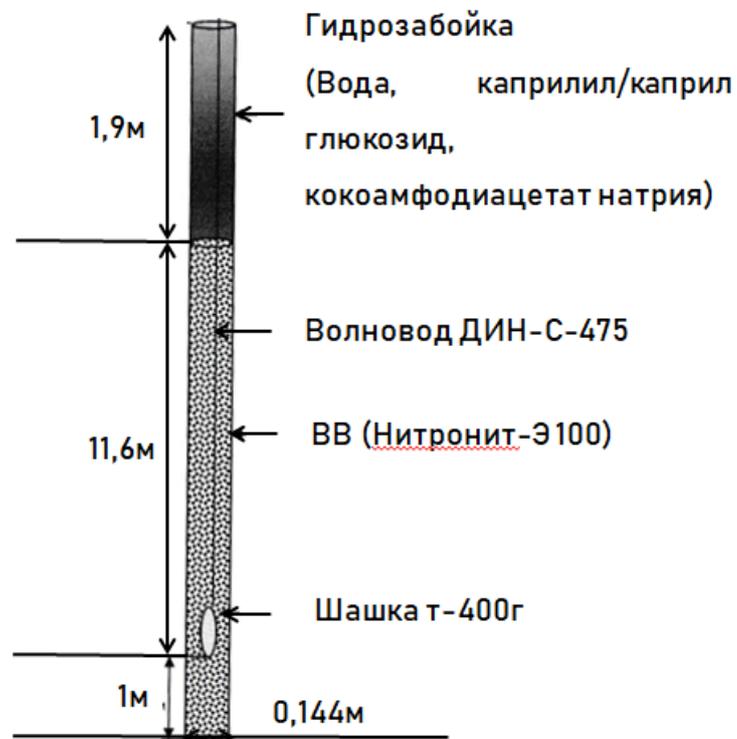


Рисунок 4.6 – Конструкция предлагаемого скважинного заряда для условий карьера «Гавриловский»

Разработана технологическая схема применения смачивателя в качестве гидрозабойки скважин для подавления респирабельной фракции пыли при производстве массовых взрывов на карьере «Гавриловский». Схема, представленная на рисунке 4.7, отличается простотой реализации, включает операции закупки реагентов, дозирования, смешивания и разлива по гидроампулам, установленным в заряженные скважины на взрываемом блоке.

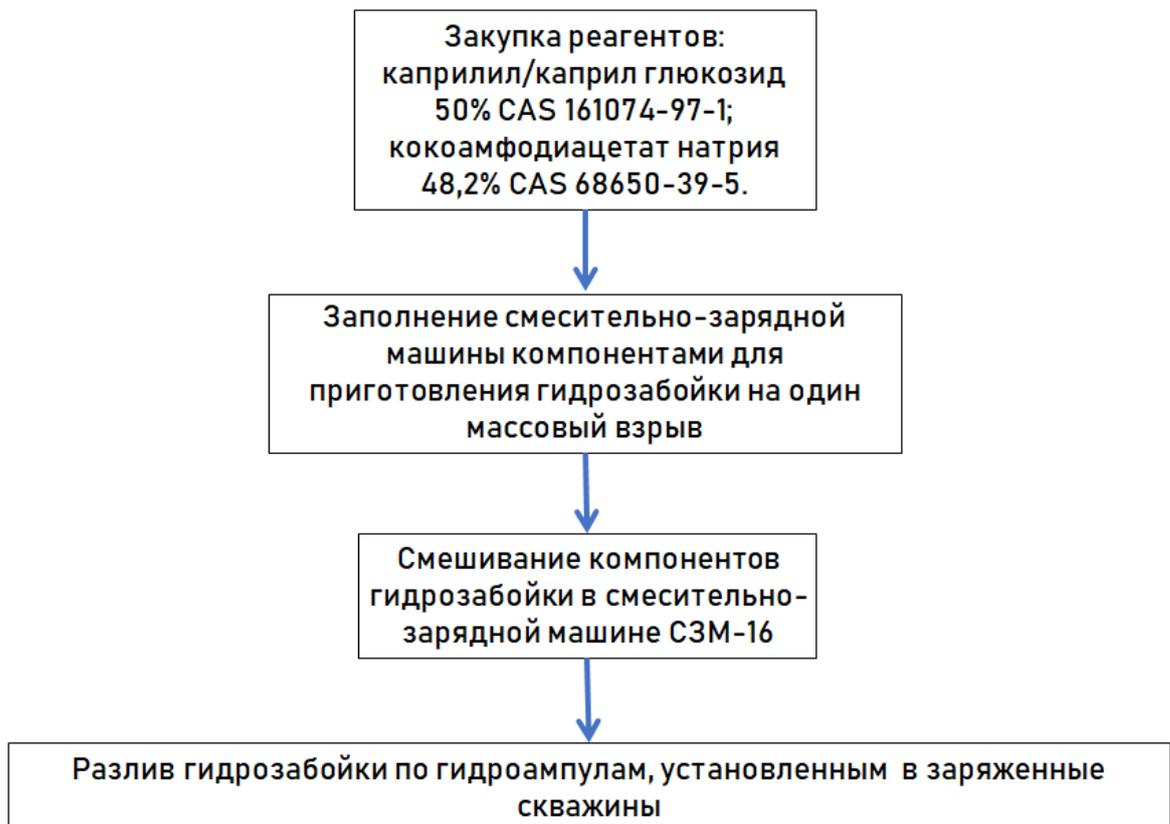


Рисунок 4.7 – Предлагаемая технологическая схема применения разработанного состава смачивателя в качестве гидрозабойки скважин

Технологическая схема применения разработанного состава смачивателя в качестве гидрозабойки скважин позволяет снизить массовую концентрацию выделяемых пылевых частиц при производстве массового взрыва в 1,9-2,5 раза в сравнении с забойкой из отсева дробильно-сортировочной фабрики.

#### 4.4 Разработка рекомендаций по расчету пылевой нагрузки с учетом доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле

Ведение горных работ сопряжено с рисками развития различных заболеваний у работников горнодобывающих предприятий. Риски развития заболеваний пылевой этиологии определяются, согласно «Р 2.2.1766-03.2.2. Гигиена труда. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки». На оценку профессионального риска развития заболеваний пылевой этиологии также влияют результаты специальной оценки условий труда на постоянных рабочих местах [42,73,94]. В соответствии с современными требованиями законодательства Российской Федерации класс условий труда определяется на постоянных рабочих местах, путем сравнения среднесменной концентрации пыли с предельно-допустимой концентрацией, величина которой закреплена в санитарных правилах и нормах СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» [99,100,101]. Кратность превышения ПДК среднесменной концентрацией пыли определяет класс условий труда. Максимально разовая предельно допустимая концентрация гранитной пыли составляет 6 мг/м<sup>3</sup>, а среднесменная 2 мг/м<sup>3</sup>, вышеуказанные документы не учитывают респирабельную фракцию пыли при определении класса условий труда. Для определения допустимого стажа работ под воздействием пылевых аэрозолей рассчитывается пылевая нагрузка, которая представляет собой общую массу пыли прошедшую через легкие работника за рассматриваемый период времени, и определяется по формуле 4.1:

$$ПН_{1\text{год}} = C_{cc} \cdot N \cdot Q, \quad (4.1)$$

где  $C_{cc}$  – фактическая среднесменная концентрация пыли, мг/м<sup>3</sup>;

$N$  – число рабочих смен, в календарном году, проведенных в условиях воздействия АПФД;

$Q$  – объем воздуха, проходящего через легкие работника в течение смены, м<sup>3</sup>.

При отсутствии превышения ПДК среднесменной концентрацией пыли, класс условий труда будет равен 2, а пылевая нагрузка не будет превышать контрольных значений. Контрольная пылевая нагрузка рассчитывается по формуле 4.2.

$$\text{КПН}_{1\text{год}} = \text{ПДК}_{\text{сс}} \cdot N \cdot Q \quad (4.2)$$

Определение класса условий труда в зависимости от превышения ПДК [87] представлено в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Определение класса условий труда при воздействии АПФД

Тип АПФД	Класс условий труда, определяемый из соотношения $\frac{C_c}{\text{ПДК}_{\text{сс}}} \left( \frac{\text{ПН}_{1\text{год}}}{\text{КПН}_{1\text{год}}} \right)$				
	допустимый	вредный			
	2	3.1	3.2	3.3	3.4
Аэрозоли высоко и умеренно фиброгенного действия	$C_c \leq \text{ПДК}$ $\text{ПН} \leq \text{КПН}_{1\text{год}}$	> 1-2	> 2-4	> 4-10	> 10
Слабофиброгенные АПФД	$C_c \leq \text{ПДК}$ $\text{ПН} \leq \text{КПН}_{1\text{год}}$	> 1-3	> 3-6	> 6-10	> 10

В случае превышения контрольной пылевой нагрузки рекомендуется использовать принцип защиты временем, в основе которого лежит расчет допустимого стажа работы ( $T_1$ ) по формуле 4.3. в конкретных условиях за 25-летний рабочий стаж [18]:

$$T_1 = \frac{\text{КПН}_{25}}{C_c \cdot N \cdot Q} \quad (4.3)$$

Главным недостатком применяемой методики определения допустимого стажа работы и пылевой нагрузки на органы дыхания работников является отсутствие учета доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле. В работе [51] для расчета ПН с учетом респирабельной фракции пыли предложена формула 4.4. учитывающая коэффициент  $D$ .

$$\text{ПН}_{1\text{год}} = C_{\text{cc}} \cdot N \cdot Q \cdot D, \quad (4.4)$$

где  $D$  – коэффициент, учитывающий влияние пыли респирабельной фракции и зависящий от ее массовой концентрации в пылевом аэрозоле.

Коэффициент  $D$  рассчитывается по формуле 4.5.

$$D = 1 + \frac{C_{\text{cc}} \cdot \gamma_{0,1-10}}{100 \cdot \text{ПДК}_{\text{р.п.}}} \cdot \frac{R}{100}, \quad (4.5)$$

где  $\gamma_{0,1-10}$  – фактическое содержание в пылевом аэрозоле пыли респирабельной фракции, %;

$\text{ПДК}_{\text{р.п.}}$  – предельно допустимая концентрация респирабельной фракции пыли,  $\text{ПДК}_{\text{р.п.}} = 1 \text{ мг/м}^3$  (принята на основе зарубежного опыта);

$R$  – увеличение вероятности развития легочных заболеваний при повышении на 10% среднесменной концентрации респирабельной фракции пыли, %.

В работе [105] представлены результаты анализа вероятности развития профессиональных заболеваний, при повышении среднесменной концентрации респирабельной фракции пыли на 10%. Установлено, что вероятность возникновения заболевания увеличивается на 26%.

Пороговое значение доли респирабельной фракции пыли в пылевом аэрозоле равно 30% для большинства угольных шахт, однако использовать данное пороговое значения для открытых горных работ некорректно ввиду меньшей доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле.

Пыль, выделяемая при производстве массовых взрывов, поднимается в составе пылегазового облака на значительную высоту и перемещается по территории карьера и за его пределы, осаждаясь под действием ветровых потоков [31].

По данным представленным выше, были построены розы ветров по повторяемости направления ветра в период положительных и отрицательных температур на карьере «Гавриловский» (рисунок 4.8).

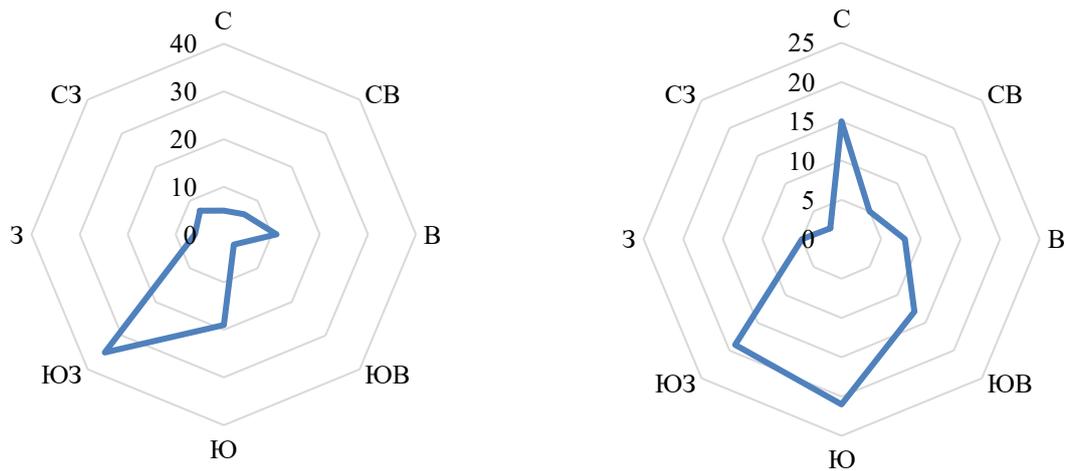


Рисунок 4.8 – Роза ветров по повторяемости направления ветра в период положительных (слева) и отрицательных (справа) температурах  
 Данные по повторяемости направления ветра на карьере «Гавриловский» в 2023 году представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Повторяемость направления ветра на карьере «Гавриловский»

Направление ветра	Летний период (июнь-август)	Зимний период (декабрь-февраль)	2023 год
Северное	5	15	40
Северо-восточное	6	5	32
Восточное	11	8	23
Юго-восточное	3	13	23
Южное	19	21	59
Юго-западное	35	19	100
Западное	6	5	28
Северо-западное	7	2	25

В результате анализа роз ветров для положительных и отрицательных температур можно сделать вывод, что на карьере преобладает южное и юго-западное направление ветра.

В период положительных температур ветер со скоростью 5 м/с и более дует в 1,5 раза чаще, чем при отрицательных температурах, при которых скорость ветра составляет преимущественно 2-3 м/с.

Данные по повторяемости скорости ветра на карьере «Гавриловский» в 2023 году представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Повторяемость скорости ветра на карьере «Гавриловский»

Скорость ветра, м/с	Летний период (июнь-август)	Зимний период (декабрь-февраль)	2023 год
$1 \leq V < 2$	5	6	25
$2 \leq V < 3$	15	19	50
$3 \leq V < 4$	13	12	58
$4 \leq V < 5$	11	11	56
$5 \leq V < 6$	9	6	30
$6 \leq V < 7$	4	9	22
$7 \leq V < 8$	11	3	24
$8 \leq V < 9$	8	5	16

По данным, представленным выше, были построены розы ветров по повторяемости скорости ветра в период положительных и отрицательных температур (рисунок 4.9).

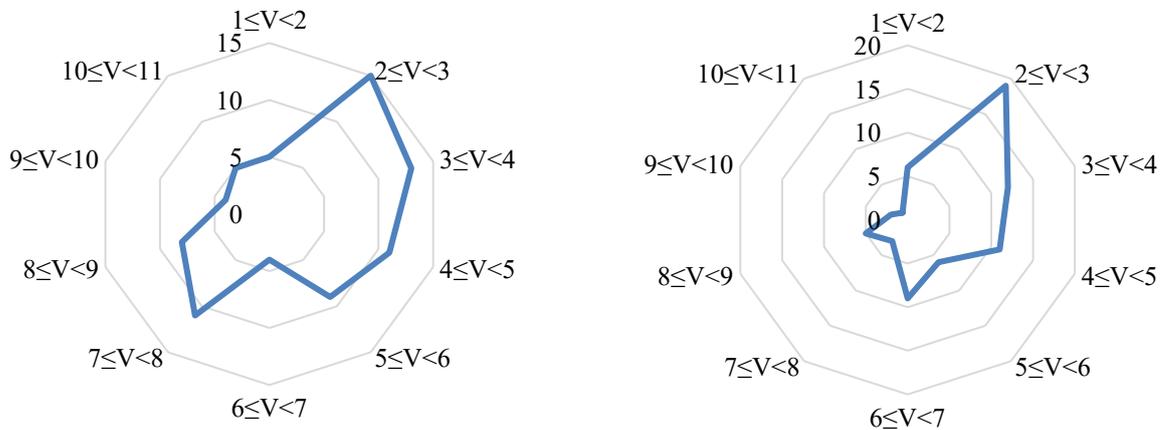


Рисунок 4.9 – Роза ветров по повторяемости скорости ветра в период положительных (слева) и отрицательных (справа) температурах

Высота подъема пылегазового облака при производстве массового взрыва на карьере «Гавриловский» составляет 160-200 м. Зная скорость осаждения пылевых частиц и скорость ветра, можно рассчитать расстояние

их распространения. Для частиц фракции  $PM_{10}$  оно составляет 400-600 м, а для фракции  $PM_{2,5}$  – 1800-2500 м.

Оседающие из пылегазового облака частицы пыли будут увеличивать пылевую нагрузку на органы дыхания работников карьера, находящихся в направлении распространения пылегазового облака.

Сравнение результатов расчета пылевой нагрузки на органы дыхания горного мастера карьера «Гавриловский» представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Расчет пылевой нагрузки на примере горного мастера по методике, учитывающей долю респирабельной фракции в пылевом аэрозоле, и по стандартной

Применяемая методика	Концентрация пыли, мг/м <sup>3</sup>	Среднее содержание респирабельной фракции пыли, %	Значение коэффициента D	ПН <sub>25лет</sub>	Допустимый стаж работ
Стандартная методика	1,8	7	-	108500	17
Методика с учетом фракции $PM_{10}$			1,16	125860	14
С применением разработанных способов пылеподавления	1	3,5	1,08	70000	25

Расчет пылевой нагрузки на органы дыхания работников карьера с учетом доли респирабельной фракции пыли в пылевом аэрозоле больше на 20% по сравнению с полученным по стандартной методике, что снижает допустимый стаж работ с 17 до 14 лет. Однако применение разработанных способов подавления пыли позволит массовую концентрацию пыли и долю респирабельной фракции в ее составе до контрольных значений.

#### 4.5 Техничко-экономическое обоснование предложенных решений и рекомендаций

Разработанные способы подавления респирабельной фракции пыли, образующейся при производстве массовых взрывов, показали свою эффективность, однако для применения на горнодобывающих предприятиях необходимо провести их технико-экономическое обоснование.

Затраты на пылеподавление можно разделить на две части: Закупка реагентов и производство смачивателя при положительной температуре, производство искусственного снега при отрицательной температуре.

При положительных температурах воздуха пылеподавление осуществляется за счет заполнения смесительно-зарядной машины компонентами для приготовления гидрозабойки.

На 1 кг забойки потребуется 989,9 г воды, 8,5 г каприлил/каприл глюкозида 50% и 1,6 г кокоамфодиацетата натрия 48,2%.

В таблице 4.9 представлена стоимость компонентов смачивателя.

Таблица 4.9 – Стоимость компонентов забойки

Компонент	Ед. изм.	Цена, руб.
Каприлил/каприл	кг	230
Кокоамфодиацетат натрия	кг	310
Лаурилсульфат натрия	кг	420
Вода	м <sup>3</sup>	36,54
<b>Итоговая стоимость 1 кг забойки: 2,49 руб.</b>		

Для сравнения экономической целесообразности применения разработанного состава был выбран аналог, разработанный НПО «Синтез ПАВ» [11]. Данный состав выбирается за аналог, так как он сопоставим с разработанным составом по времени смачивания при концентрации 1%, и также применяется в качестве гидрозабойки скважин.

Показателем экономической эффективности применения гидрозабойки является себестоимость, в которую входят цена на закупку реагентов, цена на

закупку рукавов, стоимость расхода топлива СЗМ-16, амортизация оборудования, заработная плата оператора СЗМ-16 и взрывников (таблица 4.10).

Таблица 4.10 – Стоимость затрат для подготовки одной скважины и взрываемого блока

Затраты	Применение разработанного состава		Применение лаурилсульфата натрия	
	Стоимость, руб.			
	На одну скважину	На взрываемый блок (150 скважин)	На одну скважину	На взрываемый блок (150 скважин)
Стоимость заполнения гидрозабойкой скважины	76,92	11538,39	111,53	16789,63
Стоимость рукава	150	22500	150	22500
Стоимость расхода дизельного топлива	15,30	2295,72	15,30	2295,72
Заработная плата за время работы	33,85	5078,13	33,85	5078,13
Амортизация	236,11	35416,70	236,11	35416,70
<b>Общие затраты</b>	<b>512,19</b>	<b>76828,90</b>	<b>546,80</b>	<b>82020,10</b>

При отрицательных температурах воздуха для подавления респирабельной фракции пыли, образующейся при производстве массовых взрывов, может применяться снежный покров, наносимый на взрываемый блок. При отсутствии естественного снежного покрова предлагается применять снегогенератор Northwind-450 для создания искусственного снежного покрова, для чего необходима электроэнергия и вода. Затраты на

приобретение и техническое обслуживание оборудования приведены в таблице 4.11.

Таблица 4.11 – Стоимость затрат при применении снегогенератора Northwind-450

Затраты	Стоимость, руб.
Расход электроэнергии	346,61
Расход воды	973,43
Заработная плата за время работы	1024,88
Амортизация	6250,00
<b>Общие затраты</b>	<b>8594,91</b>

Стоимость снегогенератора Northwind-450 составляет 1500000 рублей. Один массовый взрыв с применением снегогенератора стоит 8954,91 рублей, что на 68234 рубля дешевле, чем взрыв с применением гидрозабойки. При производстве 2 массовых взрывов в месяц, около 12 массовых взрывов в год будет проводиться при отрицательных либо около нулевых температурах. Таким образом, срок окупаемости снегогенератора для подавления пыли при производстве массовых взрывов в период отрицательных температур составит 2 года.

В таблице 4.12 представлено сравнение затрат на применение предложенных способов подавления пыли в период положительных и отрицательных температур.

Таблица 4.12 – Сравнение затрат на применение гидрозабойки и использование снегогенератора Northwind-450

Используемый метод	Общая стоимость, руб.	
	На одну скважину	На массовый взрыв (150 скважин)
Применение ПАВ	512,19	76828,90
Применение снегогенератора	57,30	8594,91

Поверхностно-активные вещества также можно использовать и при отрицательных температурах. Однако необходимо добавление веществ, понижающих температуру замерзания, например этанола. Следовательно, для подавления пыли при отрицательных температурах в отсутствие естественного снежного покрова применение снегогенератора будет наиболее экономически целесообразно.

#### **4.6 Выводы по главе 4**

1. Для прогнозирования гранулометрического состава респираторной фракции пыли предложена методика, учитывающая параметры буровзрывных работ и физико-механические свойства взрывающей породы.

2. Разработана технологическая схема пылеподавления респираторной фракции снежным покровом на взрывающей блоке при отрицательных температурах, который формируется турбинными снегоочистителями или снегогенератором. Проведено ее технико-экономическое обоснование, свидетельствующее о целесообразности складирования и хранения снега для дальнейшего его применения на взрывающей блоке.

3. Разработана технологическая схема производства и применения гидрозабойки при положительных температурах на предприятии АО «Гавриловское карьероуправление», отличающаяся простотой реализации, низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

4. Предлагаемые способы пылеподавления снижают пылевую нагрузку на органы дыхания работников карьера более чем в 2 раза, что позволяет достичь контрольных значений для ряда должностей работающих в условиях превышения предельно допустимой концентрации пыли.

5. Проведено технико-экономическое обоснование разработанных способов подавления респираторной фракции пыли. Срок окупаемости затрат на приобретение снегогенератора Northwind-450 составит менее двух лет.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Снижение пылевой нагрузки на органы дыхания работников горнодобывающих предприятий является актуальной задачей для обеспечения комфортных и безопасных условий труда, поскольку работники подвергаются воздействию пылевых аэрозолей и в частности респирабельной фракции.

В диссертации обоснованы способы подавления респирабельной фракции пыли при производстве массовых взрывов. Применение рассмотренных способов позволит снизить пылевую нагрузку на органы дыхания работников гранитных карьеров. По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Анализ современного состояния условий труда по пылевому фактору показал, что временная нетрудоспособность, вызванная заболеваниями органов дыхания под воздействием АПФД, на горнодобывающих предприятиях РФ достигает 42,3%, при этом на гранитном карьере «Гавриловский» пылевая нагрузка на органы дыхания у 40,4% работников превышает контрольные значения.

2. Натурными исследованиями на карьере «Гавриловский» установлено, что при производстве массовых взрывов происходит повышение массовой концентрации респирабельной фракции пыли в 5 раз и более.

3. Для прогнозирования доли респирабельной фракции в пылевом аэрозоле предложена методика расчета ее гранулометрического состава, учитывающая параметры буровзрывных работ и физико-механические свойства взрываеваемой породы. Проведен сравнительный анализ массового распределения частиц пыли респирабельной фракции, который показал высокую сходимость прогнозируемых и натурных результатов.

4. В результате лабораторных исследований смачивающей способности ПАВ разработан состав гидрозабойки, включающий каприлил/каприл глюкозид и кокоамфодиацетат натрия, при концентрации которого 0,5%

время смачивания навески гранитной пыли ниже в 1,9-11,5 раз по сравнению с аналогами.

5. В результате натурных испытаний установлено, что применение снежного покрова на взрываемом блоке при производстве массовых взрывов приводит к снижению массовой концентрации выделяемой респираторной фракции пыли в 2,1 раза.

6. Разработана технологическая схема производства и применения гидрозабойки при положительных температурах на предприятии АО «Гавриловское карьероуправление», отличающаяся простотой реализации, низкими капитальными и эксплуатационными затратами.

7. Разработана технологическая схема пылеподавления респираторной фракции снежным покровом, который формируется на взрываемом блоке при отрицательных температурах турбинным снегоочистителем или снегогенератором. Проведено ее технико-экономическое обоснование, свидетельствующее о целесообразности складирования и хранения снега для дальнейшего его применения на взрываемом блоке.

8. Предлагаемые способы пылеподавления снижают пылевую нагрузку на органы дыхания работников карьера более чем в 2 раза, что позволяет достичь контрольных значений.

9. Научные положения диссертации обеспечивают дальнейшее развитие теории и технологии подавления респираторной фракции пыли при производстве массовых взрывов на гранитных карьерах.

Дальнейшее развитие темы диссертации предполагает применение разработанных способов пылеподавления на предприятиях по добыче строительных материалов.

### Список литературы

1. Амха, Б. Г. Совершенствование методики расчета пылегазовых выбросов в атмосферу при взрывных работах на карьерах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Амха Бетемариам Гезму; Тульский государственный университет. – Тула, 2008. – 164 с.
2. Бакластов, А. М. Промышленные теплообменные процессы и установки: Учебник для ВУЗов / А. М. Бакластов, А. В. Горбенко, О. Л. Данилов. – Москва: Энергоатомиздат, 1986. – 328 с.
3. Бараненко, А. В. Холодильные машины: Учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур» / А. В. Бараненко, Н. Н. Бухарин, В. И. Пекарев, И. А. Сакун, Л. С. Тимофеевский. – СПб: Политехника, 1997. – 992 с.
4. Белозеров, А. В. Теоретические основы конденсационного увлажнения и подавления пыли / А. В. Белозеров, Ю. В. Шувалов // Физические процессы горного производства. – СПб: Издательство СПГГИ(ТУ), 1992. – С. 77-82.
5. Бересневич, П. В. Оценка процесса взметывания осевшей пыли после массовых взрывов в карьерах / П. В. Бересневич, В. И. Деньгуб // Неделя горняка. – Москва: МГГУ, 2001. – С. 63-66.
6. Бересневич, П. В. Эффективность способов и средств нормализации состава атмосферы при комплексной открыто-подземной разработке рудных месторождений / П. В. Бересневич, В. Г. Сашенко // Безопасность жизнедеятельности. – 2004. – № 7. – С. 10-14.
7. Битколов, Н. З. Пылеподавление на разрезах при отрицательных температурах воздуха / Н. З. Битколов, И. И. Иванов, К. С. Лиханов // Уголь. – 1982. – № 4. – С. 93-95.
8. Болезни органов дыхания / Общая заболеваемость населения по классам, группам болезней и отдельным заболеваниям, зарегистрированным в лечебно-профилактических учреждениях. Информационно-аналитический центр Министерства здравоохранения России. – Москва, 1998.

9. Болотов, А. М. Состав для пылеподавления: Заявка на изобретение №834353, СССР: МПК E21F 5/00 / А. М. Болотов, Е. Н. Чижков, Л. П. Курьянинова; заявитель и патентообладатель: Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт профилактики пневмокониозов и техники безопасности. – 2630495/22-03; заявл. 15.06.78; опубл. 30.05.81. – 2 с.

10. Булдакова, Е. Г. Анализ производственного травматизма и этапов создания эффективной системы управления промышленной безопасностью на примере ОАО «Воркутауголь» / Е. Г. Булдакова, Е. Б. Гридина // Записки Горного Института. – 2014. – Т. 207. – С. 95-98.

11. Воровский, А. А. Способ ведения взрывных работ при массовых взрывах: Патент №2051763, Российская Федерация: МПК В21С 37/00 / А. А. Воровский, А. И. Потапов, И. С. Шляхов, В. Г. Берденко, Б. Е. Чистяков, Т. С. Кулабухова, В. Ф. Борачук; заявитель и патентообладатель научно-производственное объединение «Синтез ПАВ». – 5029620/03; заявл. 01.07.1991; опубл. 10.01.2013. – 8 с.

12. Гаврилова, Д. И. Применение пленкообразующих полимерных веществ для пылеподавления и снижения окисляемости углей при их хранении и транспортировке: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гаврилова Дарья Ивановна; Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС». – Москва, 2020. – 111 с.

13. Гаспарьян, Н. А. Пылеподавление на основе использования фазовых переходов влаги при ведении открытых горных работ: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Гаспарьян Никита Александрович; Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова. – СПб, 2008. – 185 с.

14. Гендлер, С. Г. Опыт и перспективы управления охраной труда и промышленной безопасностью на предприятиях минерально-сырьевого

комплекса / С. Г. Гендлер, М. Л. Рудаков, Л. Ю. Самаров // Горный журнал. – 2015. – № 5. – С. 84-87.

15. 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.

16. Гендлер, С. Г. Способ снижения выноса пыли с поверхности техногенного массива: Патент №2285800, Российская Федерация: МПК E21C41/32 / С. Г. Гендлер, В. С. Кузнецов, Н. А. Мироненкова; заявитель и патентообладатель: Санкт-Петербургский государственный горный институт им. Г.В. Плеханова. – 2005119371/03; заявл. 21.06.2005; опубл. 20.10.2006.

17. Глебов, А. Ф. Смачиватель для подавления угольной пыли: Патент №2495250, Российская Федерация: МПК E21F 5/06 / А. Ф. Глебов заявитель и патентообладатель: - 2012116211/03; заявл. 23.04.2012; опубл. 10.10.2013, – 4 с.

18. ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны», утвержденные постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 13 февраля 2018 года №25. – 176 с.

19. Голоскоков, С. И. Выбор оптимальной концентрации растворов поверхностно-активных веществ по отношению к пыли угольных шахт для борьбы с запыленностью / С. И. Голоскоков, Н. М. Недосекина, М. С. Сазонов, Е. И. Голоскоков, Н. А. Терентьева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2013. – № 2. – С. 5-9.

20. Голоскоков, С. И. Метод определения смачивающей способности угольной, углепородной пыли растворами поверхностно-активных веществ / С. И. Голоскоков, Н. М. Недосекина, М. С. Сазонов, Е. И. Голоскоков,

Н. А. Терентьева // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2014. – № 1. – С. 99-102.

21. ГОСТ 12.1.005-88 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» (с Изменением N 1); введен 01.12.2000.

22. ГОСТ 12.1.016-79 «Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Воздух рабочей зоны. Требования к методикам измерения концентраций вредных веществ» (с Изменением N 1); введен 01.10.2001.

23. ГОСТ 32509-2013 «Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде»; введен 01.01.2015.

24. ГОСТ Р 8.563-2009 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики (методы) измерений»; введен 15.04.2010.

25. ГОСТ Р ИСО 7708-2006 «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле»; введен 01.11.2006.

26. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения Российской Федерации в 2022 году» [электронный ресурс]. – URL: [https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT\\_ID=25076](https://rospotrebnadzor.ru/documents/details.php?ELEMENT_ID=25076) (дата обращения 22.05.2024).

27. Графкина, М. В. К вопросу контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух при движении автомобильного транспорта / М. В. Графкина, А. В. Азаров, Д. Р. Добринский, Д. А. Николенко // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12. – №4(103). – С. 373-380.

28. Гридина, Е. Б. Определение периодичности организационных и технических профилактических мероприятий, направленных на повышение эффективности управления безопасностью на угольных разрезах / Е. Б. Гридина, А. В. Пасынков // Записки Горного Института. – 2014. – Т. 207. – С. 106-109.

29. Гурин, А. А. Совершенствование методики оценки действия массовых выбросов в карьерах на окружающую среду / А. А. Гурин, В. И. Ляшенко // Безопасность труда в промышленности. – 2018. – № 1. – С. 35-41.

30. Далбаева, Е. П. Обоснование эффективных мер борьбы с пылью на карьерах криолитозоны / Е. П. Далбаева // Записки Горного Института. – 2014. – Т. 207. – С. 110-111.

31. Дикарев, В. И. Методы и средства защиты человека и окружающей среды / В. И. Дикарев, В. А. Рогалев, Г. А. Денисов, А. П. Доронин. – СПб: МАНЭБ, 1999. – 186 с.

32. Дремук, А. П. Коллоидно-химические свойства двойных и тройных смесей ПАВ различной природы: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Дремук Алена Петровна; Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева. – Москва, 2018. – 145 с.

33. Ерзин, А. Х. Повышение эффективности пылеподавления при подземной разработке угольных месторождений с использованием поверхностно-активных веществ: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ерзин Айрат Хакимович; Национально минерально сырьевой университет «Горный». – СПб, 2015. – 148 с.

34. Жмаев, В. В. Пылеподаватель для обработки мелкозернистых материалов: Патент №2690925 Российская Федерация: МПК С09К 3/22 / В. В. Жмаев, А. Л. Кузнецов; заявитель и патентообладатель: ООО «Химические Технологии». – 2018130697; заявл. 23.08.2018; опубл. 06.06.2019, – 2 с.

35. Замышляев, Б. В. Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред / Б. В. Замышляев, Л. С. Евтерев. – Москва: Наука, 1990. – 215 с.

36. Зубкова, Ю. Н. Состав для смачивания угольной пыли: Заявка на изобретение №1168735, СССР: МПК E21F 5/06 / Ю. Н. Зубкова,

А. Н. Лопанов, В. А. Белобрицкий, Н. Б. Узденников; заявитель и патентообладатель: Донецкий государственный университет. – 3701794/22-03; заявл. 16.02.84; опубл. 23.07.85. – 6 с.

37. Зыков, Ю. Н. Выпадение пыли из газопылевого облака при массовом взрыве на карьере / Ю. Н. Зыков, Л. М. Перник, А. А. Спивак // Межвузовский сборник научных трудов «Вентиляция шахт и рудников». – Ленинград: Издательство ЛГИ. – 1980. – № 7. – С. 53-57.

38. Ильченкова, С. А. Анализ существующих способов и средств пылеподавления на пылящих поверхностях горного производства / С. А. Ильченкова, Н. А. Гаспарьян // Сборник материалов III Международной конференции «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Пенза: ПГУ, 2003. – С. 89-90.

39. Ищук, И. Г. Средства комплексного обеспылевания горных предприятий. Справочник / И. Г. Ищук, Г. А. Поздняков. – Москва: Недра, 1991. – 253 с.

40. Казначеев, В. П. Современные аспекты патологии человека на крайнем Севере. Эколого-гигиенические и клинические аспекты жизнедеятельности человека в условиях крайнего Севера / В. П. Казначеев, Ю. В. Куликов, Н. П. Бычихин // Сборник трудов конференции «Эколого-гигиенические и клинические вопросы жизнедеятельности человека в условиях севера». – Новосибирск, редакционно-издательский отдел СО АМН, 1981. – С. 106-107.

41. Каркашадзе, Г. Г. Разработка эффективного способа пылеподавления при производстве массовых взрывов на рудных карьерах / Г. Г. Каркашадзе, И. В. Новиков // Записки Горного Института. – 2001. – Т. 148. – № 2. – С. 50-56.

42. Кирин, Б. Ф. Концептуальные основы пылевого контроля на горных предприятиях / Б. Ф. Кирин, В. И. Дрёмов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 1992. – № 1. – С. 12-19.

43. Кобылкин, А. С. Исследование распределения частиц угольной пыли по горным выработкам / А. С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S49. – С. 208-214.

44. Кобылкин, А. С. Определение дисперсного состава пыли при отборе проб из рудничной атмосферы у комбайна / А. С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № 10. – С. 122-125.

45. Кобылкин, А. С. Распределение пыли различного дисперсного состава в горных выработках, в зависимости от расположения источника пылевыведения / А. С. Кобылкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 6. – С. 291-302.

46. Ковшов, С. В. Установка для моделирования процесса пылеподавления на карьерах открытого типа путем орошения / С. В. Ковшов, Е. Б. Гридина, В. В. Иванов // Вода и экология: проблемы и решения. – 2018. – № 3. – С. 68-75.

47. Колесник В. Е. Способы и средства повышения экологической безопасности массовых взрывов в железорудных карьерах по пылевому фактору / В. Е. Колесник, А. А. Юрченко, А. А. Литвиненко, А. В. Павличенко. – Днепропетровск: издательство «Литограф», 2014. – 112 с.

48. Конабе, К. Композиция для связывающей пыль обработки: Патент №2391375, Российская Федерация: МПК С09К 3/22 / К. Конабе, М. Кавазое; заявитель и патентообладатель: Дюпон-Мицуи Флюорокемикалз КО., ЛТД. – 2008103204/02; заявл. 29.06.2005; опубл. 10.06.2010. – 12 с.

49. Кондаков, А. В. Устройство для гидрозабойки скважин: Патент №124382 Российская Федерация: МПК Е42D1/08 / А. В. Кондаков, К. А. Колечков заявитель и патентообладатель: - 2012139738; заявл. 17.09.2012; опубл. 20.01.2013. – 12с.

50. Корнев, А. В. Современные методы оценки смачивающей способности шахтных составов для пылеподавления / А. В. Корнев, Г. И. Коршунов, М. В. Корнева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 4. – С. 93-102.

51. Корнева, М. В. Разработка и обоснование мероприятий по снижению концентрации тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле угольных шахт: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Корнева Мария Валерьевна; Санкт-Петербургский горный университет. – СПб, 2020. – 175 с.

52. Коршунов, Г. И. Анализ различных способов борьбы с мелкодисперсной респирабельной фракцией пыли на горнодобывающих предприятиях / Г. И. Коршунов, **А. М. Каримов**, В. С. Подсевалов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2022. – № 1. – С. 190-199.

53. Коршунов, Г. И. Анализ способов борьбы с мелкодисперсной респирабельной фракцией пыли при производстве взрывных работ / Г. И. Коршунов, **А. М. Каримов** // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2021. – № 2. – С. 109-120.

54. Коршунов, Г. И. Влияние мелкодисперсной респирабельной фракции пыли на организм сотрудников горнодобывающего предприятия / Г. И. Коршунов, **А. М. Каримов** // Здоровье – основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2021. – Т. 16. – № 4. – С. 1467-1471.

55. Коршунов, Г. И. Влияние снежной забойки на образование мелкодисперсной респирабельной фракции пыли при ведении взрывных работ / Г. И. Коршунов, **А. М. Каримов** // Сборник материалов V Международной научно – практической конференции «Теоретические и прикладные вопросы комплексной безопасности». – СПб, 2022. – С. 45-47.

56. Коршунов, Г. И. Исследование влияния степени метаморфизма и физико- химических свойств добываемых углей на смачиваемость

образующейся пыли / Г. И. Коршунов, А. В. Корнев, А. Х. Ерзин, А. М. Сафина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2015. – № 1. – С. 3-10.

57. Коршунов, Г. И. Исследование смачивающей способности поверхностно активных веществ для подавления респирабельной фракции пыли при производстве массовых взрывов / Г. И. Коршунов, **А. М. Каримов** // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2024. – Т. 13. – № 1. – С. 113-118.

58. Коршунов, Г. И. Разработка инновационных технологий обеспыливания в очистных и проходческих забоях угольных шахт / Г. И. Коршунов, С. Б. Романченко // Записки Горного института. – 2016. – Т. 218. – С. 339-344.

59. Коршунов, Г. И. Эффективность применения поверхностно-активных веществ для борьбы с угольной пылью / Г. И. Коршунов, Е. В. Мазаник, А. Х. Ерзин, А. В. Корнев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № 3. – С. 55-60.

60. Косухин, Н. И. Новый метод оценки пылевой нагрузки на работников угольной промышленности / Н. И. Косухин, Е. П. Обожина // Рациональное освоение недр. – 2019. – № 6. – С. 84-88.

61. Кудряшов, В. В. Методы оценки пылесмачивающего действия растворов поверхностно-активных веществ / В. В. Кудряшов, Е. А. Соловьева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 11. – С. 157-169.

62. Кузнецов, Д. А. Оптимизация параметров орошения при различных производственных процессах, сопровождающихся пылевыведением, в зависимости от свойств выделяющейся в рудничную атмосферу пыли / Д. А. Кузнецов, К. В. Кузнецова, Р. Р. Минибаев, И. А. Артюшин, О. А. Сергеев, С. Н. Мусинов // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 4. – С. 74-82.

63. Ланге, К. Р. Поверхностно-активные вещества: Синтез, свойства, анализ, применение. / К. Р. Ланге. – СПб: Профессия, 2004. – 239 с.
64. Ларичев, А. Ю. Влияние энергетических свойств взрывчатых веществ на процессы пылегазообразования и пожаровзрывобезопасность / А. Ю. Ларичев, Г. П. Парамонов, М. Т. Пелех // Проблемы управления рисками в техносфере. – 2010. – №4. С. 60-64.
65. Ларичев, А. Ю. Обоснование рациональных параметров буровзрывных работ для снижения вредных выбросов пыли и газа при производстве массовых взрывов на карьерах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ларичев Анатолий Юрьевич; Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет). – СПб, 2012. – 153 с.
66. Лобанов, Ф. И. Способ закрепления пылящих поверхностей: Патент №2513786 Российская Федерация: МПК E21F 5/06, C09K 3/22 / Ф. И. Лобанов, Е. М. Чукалина, Л. Н. Козлов, Е. Ю. Глоба, Ю. В. Каплунов, В. Ю. Каплунов; заявитель и патентообладатель: Общество с ограниченной ответственностью «Компания Нью Текнолоджис Плюс». – 2012143816/03; заявл. 15.10.2012; опубл. 20.04.2014. – 1 с.
67. Лещинский, А. В. Забойка взрывных скважин на карьерах / А. В. Лещинский, Е. Б. Шевкун. – Хабаровск: Тихоокеанский государственный университет, 2008. – 230 с.
68. Малышев, Ю. Н. Физико-химические процессы при добыче полезных ископаемых и их влияние на состояние окружающей среды / Ю. Н. Малышев, А. Т. Айруни, Е. Ю. Куликова. – Москва: Академия горных наук, 2002. – 270 с.
69. Менжулин, М. Г. Модель взрывного разрушения горной породы и формирование на ее основе пылевой фракции / М. Г. Менжулин, Г. П. Парамонов // Горный журнал. – 1998. – № 10. – С. 23-25.
70. Менжулин, М. Г. Метод расчета параметров волн напряжений и диссипации энергии в области разрушения горных пород при взрыве

удлиненных зарядов различных составов и конструкций / М. Г. Менжулин, Г. П. Парамонов, А. Н. Шишов // Наука в СПГГИ. – 1998. – № 3. – С. 205-219.

71. Михайлов, В. А. Борьба с пылью и ядовитыми газами при буровзрывных работах на карьерах // В. А. Михайлов, П. В. Бересневич, А. И. Лобода, Н. Ф. Родионов – Москва: Недра, 1971. – 261 с.

72. Монаков, А. С. Разработка метода прогнозирования пылевых выбросов горно-обогатительными комбинатами в окружающую среду: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Монаков Юрий Викторович; Национальный исследовательский университет «МЭИ». – Москва, 2013. – 124 с.

73. МУК 4.1.2468-09 «Измерение массовых концентраций пыли в воздухе рабочей зоны предприятий горнорудной и нерудной промышленности»; введен 29.04.2009.

74. Новиков, И. В. Обоснование и разработка способа пылеподавления с реализацией процесса насыщения водой пылевого облака при взрывных работах на карьерах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Новиков Игорь Валериевич; Московский государственный горный университет. – Москва, 2002. – 146 с.

75. Никитин, В. С. Борьба с пылью и газами на открытых горных разработках / В. С. Никитин, М. М. Чесноков. – Москва: Госгортехиздат, 1961. – 108 с.

76. Осодоев, М. Т. Снегогенераторы и область их применения / М. Т. Осодоев. – Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1991. – 36 с.

77. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад. – Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019 – 254 с.

78. Очиров, В. С. Научное обоснование совершенствования технологии взрывных работ для снижения пылегазо-акустического воздействия на карьерах и рудниках Забайкалья: на соискание ученой

степени доктора технических наук / Очиров Вячеслав Санжиевич; Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – Улан-Удэ, 2001. – 308 с.

79. Папичев, В. И. Экологические проблемы развития открытых горных разработок / В. И. Папичев, Г. Б. Номеров // Горный журнал. – 1992 – № 9. – С. 49-52.

80. Певзнер, М.Е. Экология горного производства / М.Е. Певзнер, В.П. Костовецкий. М.: Недра, 1990. – 395с.

81. Подображин, С. Н. Повышение эффективности увлажнения угольных пластов для предотвращения пылеобразования / С. Н. Подображин // Безопасность труда в промышленности. – 2010. – № 6. – С. 28-30.

82. Подображин, С. Н. Пути обеспечения комплексной безопасности горных работ / С. Н. Подображин, А. Г. Бабенко, В. И. Шилов // Безопасность труда в промышленности. – 2008. – № 8. – С. 20-23.

83. Поздняков, Г. А. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности / Г. А. Поздняков, Б. Ф. Кирин, Е. И. Воронцова, Е. И. Онтин. – Москва: Недра, 1982. – 233 с.

84. Поздняков, Г. А. Требования к смачивателям для пылеподавления в угольной и горнорудной промышленности / Г. А. Поздняков, А. В. Третьяков, В. Ю. Гаравин, А. И. Новосельцев // Безопасность труда в промышленности. – 2013. – № 10. – С. 36-39.

85. Приказ Минтруда России от 24.01.2014 № 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», зарегистрированный в Минюсте России 21.03.2014 № 31689.

86. Программа для ЭВМ Программа для определения гранулометрического и дисперсного состава частиц, образованных в результате массового взрыва / Г. И. Коршунов, П. И. Афанасьев, **А. М. Каримов**; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Санкт-

Петербургский горный университет. - № 2022663908; опубл. 21.07.2022. – 1 с.

87. Родионов, В. Н. Основы геомеханики / В. Н. Родионов, И. А. Сизов, В. М. Цветков. – Москва: Недра, 1986. – 299 с.

88. Ревелль, П. Среда нашего обитания / П. Ревелль, Ч. Ревелль. – Москва: Мир, 1995. – 296 с.

89. Результаты мониторинга условий и охраны труда в Российской Федерации в 2021 году [электронный ресурс]. – URL: [https://fnpr.ru/upload/iblock/557/s70zsdwk58oi0uhvejbcseyz06nr1fbtq/Informatsiya\\_o\\_rabote\\_TIT\\_v\\_2022\\_godu\\_ITOG\\_NA\\_SAYT.pdf](https://fnpr.ru/upload/iblock/557/s70zsdwk58oi0uhvejbcseyz06nr1fbtq/Informatsiya_o_rabote_TIT_v_2022_godu_ITOG_NA_SAYT.pdf) (дата обращения 22.05.2024).

90. Романченко, С. Б. Комплексное исследование фракционного состава угольной пыли / С. Б. Романченко // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – Т. 13. № 12. – С. 157-165.

91. Романченко, С. Б. Комплексное обеспыливание / С. Б. Романченко, А. Н. Тимченко, В. Н. Костеренко, Г. А. Поздняков, Ю. Ф. Руденко, В. Б. Артемьев, К. Н. Копылов. – Москва: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2016. – 288 с.

92. Романченко, С. Б. Процессы седиментации взрывоопасных аэрозолей при современных технологиях добычи угля / С. Б. Романченко, В. Н. Костеренко, А. А. Трубицын, С. С. Кубрин // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2018. – № 2. – С. 6-15.

93. Романченко, С. Б. Пылевая динамика в угольных шахтах / С. Б. Романченко, Ю. Ф. Руденко, В. Н. Костеренко. – Москва: Издательство «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», 2011. – 256 с.

94. Романченко, С. Б. Совершенствование системы контроля пылевых нагрузок с применением гравиметрического прибора СІР-10 / С. Б. Романченко, К. А. Лебецки, И. Г. Ищук // Горный информационно-

аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № S12. – С. 256-264.

95. Романченко, С. Б. Современные методы анализа формы и дисперсного состава угольной пыли / С. Б. Романченко, И. Г. Ищук // Научные сообщения ИГД им. А. А. Скочинского. – 2007. – № 333. – С. 270-286.

96. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса Критерии и классификация условий труда Руководство Р 2.2.2006-05, утвержденное Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 29 июля 2005 г: введено 01.11.2005.

97. Рыжкова, О. А. Изучение физико-химических закономерностей биоразлагаемости поверхностно-активных веществ: диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Рыжкова Ольга Алексеевна; Белгородский государственный университет. – Москва, 2010. – 111 с.

98. Сазонов К. Е. Материаловедение. Свойства материалов. Методы испытаний. Лед и снег / К. Е. Сазонов. – СПб: издательство РГГМУ, 2007. – 195 с.

99. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»; введен 01.03.2021.

100. СанПин 2.2.3.570-96 «Гигиенические требования к предприятиям угольной промышленности и организации работ»; введен 01.07.1998.

101. СанПиН 2.2.4.548-96.2.2.4. «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»; введен 01.10.2001.

102. Сарапулова, Г. И. Геохимический подход в оценке воздействия техногенных объектов на почвы / Г. И. Сарапулова // Записки Горного Института. – 2020. – Т. 243. – С. 388-392.

103. Сафина, А. М. Обоснование параметров гидрообеспыливания для снижения аэротехногенного воздействия автодорог на персонал угольных разрезов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сафина Азалия Марсовна; Санкт-Петербургский горный университет. – СПб, 2020. – 93 с.

104. Семенов, В. В. Обоснование и разработка способа пылеподавления и нейтрализации вредных газов при массовых взрывах на карьерах: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Семенов Василий Васильевич; Московский государственный горный университет. – Москва, 2008. – 135 с.

105. Скопинцева, О. В. Влияние температуры и концентрации смачивателя «Неолас» на снижение поверхностного натяжения жидкости / О. В. Скопинцева, А. Ю. Прокопович, Д. И. Савельев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 12. – С. 44-46.

106. Скопинцева, О. В. Обеспыливающая обработка угольного массива газонаполненными растворами ПАВ / О. В. Скопинцева, С. В. Иляхин, Д. И. Савельев, А. Ю. Прокопович // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – № 7. – С. 367-370.

107. Смирнякова, В. В. О долгосрочной программе обеспечения промышленной и экологической безопасности в угольной отрасли / В. В. Смирнякова // Записки Горного Института. – 2014. – Т. 207. – С. 155-158.

108. Соболев, В. В. Установление закономерностей процессов пылеобразования при работе высокопроизводительной угледобывающей техники: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Соболев Виктор Васильевич; Кузбасский государственный технический университет им Т.Ф. Горбачева. – Кемерово, 2002. – 229 с.

109. Стандарт организации СТО 00173769-005-2014. Методы определения смачивающей способности растворов поверхностно-активных веществ по отношению к пыли угольных шахт. – Кемерово: ОАО «НЦ ВостНИИ». – 2014. – 7 с.

110. Сытенков, В. Н. Экологические аспекты при производстве массовых взрывов на карьерах / В. Н. Сытенков, С. К. Рубцов, С. К. Бирик // Горный вестник Узбекистана: научно-технический и производственный журнал. – Ташкент. – 2008. – № 33. – С. 25-31.

111. Тихонова, О. В. Исследование процесса пылеобразования при взрывных работах / О. В. Тихонова // Взрывное дело. – 2005. – № 95/52. – С. 158-167.

112. Тихонова, О. В. Обоснование параметров буровзрывных работ для снижения пылегазообразования при массовых взрывах на карьерах строительных материалов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Тихонова Ольга Владимировна; Санкт-Петербургский государственный горный институт имени Г.В. Плеханова. – СПб, 2006. – 208 с.

113. Трубицын, А. А. Разработка системы мониторинга интенсивности пылеотложений и методики прогноза запыленности воздуха / А. А. Трубицын, С. Н. Подображин, В. В. Скатов, Я. С. Ворошилов, С. Н. Мусинов, Д. А. Трубицына // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 1. – С. 6-13.

114. Фомин, А. И. Развитие системы управления охраной труда на малых предприятиях угольной отрасли / А. И. Фомин, В. В. Утюганова, В. С. Сердюк // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2020. – № 1. – С. 55-60.

115. Фролов, Ю. Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы: Учебник для вузов. / Ю. Г. Фролов. Москва: ООО ТИД «Альянс», 2004. – 464 с.

116. Харионовский, А. А. Оценка влияния на окружающую среду открытого и подземного способов добычи угля / А. А. Харионовский, А. Р. Литвинов, М. Ю. Данилова, Т. Махмуд // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – № 4. – С. 113-118.

117. Цирель, С. В. Методы расчета свойств разрушенной горной массы и регулирование параметров развала при ведении взрывных работ: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Цирель Сергей Вадимович; Институт горного дела им. А. А. Скочинского. – Москва, 1998. – 364 с.

118. Чеботарёв, А. Г. Пылевой фактор и патология органов дыхания работников горнодобывающих предприятий / А. Г. Чеботарёв // Горная Промышленность. – 2012. – № 3. – С. 24-27.

119. Чеботарёв, А. Г. Риски развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии у работников горнорудных предприятий / А. Г. Чеботарёв // Горная Промышленность. – 2018. – № 3. – С. 66-72.

120. Чеботарев, А. Г. Условия труда, профессиональная заболеваемость и медико-профилактическое обслуживание работников горнодобывающих предприятий / А. Г. Чеботарев, Г.А. Лагутина // Горная Промышленность. – 2014. – № 6. – С. 75-80.

121. Черкай, З. Н. Экспертная оценка состояния производственной безопасности в территориальных единицах минерально-сырьевого комплекса России / З. Н. Черкай, С. В. Ковшов // Записки Горного Института. – 2016. – Т. 219. – С. 477-481.

122. Шевкун, Е. Б. Пылеподавление при взрывных работах / Е. Б. Шевкун, А. В. Лещинский, И. М. Уренев, Г. П. Вагина // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 4. – С. 379-384.

123. Шувалов, Ю. В. Предотвращение пылегазовых выбросов и снижение запыленности атмосферы в карьерах / Ю. В. Шувалов,

А. Мохамеда, А. П. Бульбашева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2000. – № 5. – С. 212-215.

124. Coello-Velázquez A. L. Use of the swabrec function to model particle size distribution in an industrial-scale Ni-Co ore grinding circuit / A. L. Coello-Velázquez, V. Q. Arteaga, J. M. Menéndez-Aguado. F. M. Pole, L. Llorente // Metals. – 2019. – V. 9. – № 8. – article 882.

125. Colinet, J. F. Best Practices for Dust Control in Coal Mining / J. F. Colinet, J. P. Rider, J. M. Listak, J. A. Organiscak, A. L. Wolfe // DHHS (NIOSH) Publication. – 2010. Т. 110. PP. 70-74.

126. Griffin, W. C. Classification of surface-active agents by HLB / W. C. Griffin // Journal of the Society of Cosmetic Chemists. – 1949. – Т. 1. – PP. 311-326.

127. Ji, Y. A comparative study of dust control practices in Chinese and Australian longwall coal mines / Y. Ji, R. Ting, P. Wynne, Z. Wan, Z. Ma, Z. Wang // International Journal of Mining Science and Technology. – 2016. – № 26. – PP. 199-208.

128. Joao, R. Composition of surfactants for suppression: Patent №20080017829, USA: IPC C09K 3/22 / R. Joao applicant and patent holder: - 2008/0017829; appl. 16.07.2007; publ. 01/24/2008. – 6 p.

129. Korshunov, G. I. Research and analysis of the sources of emission of respirable fraction of dust at the coal mines / G. I. Korshunov, A. M. Safina, **A. M. Karimov** // Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. – 2021. – Issue 10. – PP. 65-70.

130. Korshunov, G. I. Reduction of respirable dust-induced impact on open pit mine personnel in large-scale blasting / G. I. Korshunov, **A. M. Karimov**, G. S. Magamedov, S. A. Tyulkin // Mining informational and analytical bulletin. – 2023. – Issue 7. – PP. 132-144.

131. Kovshov, S. V. Biogenic fixation of dusting surfaces / S. V. Kovshov, V. P. Kovshov // Life Science Journal. – 2014. – V. 11. – PP. 401-404.

132. Organiscak, J. A. Surface mine dust control / J. A. Organiscak, S. J. Page, A. B. Cecala, F. N. Kissell // In: Kissell FN, ed. Handbook for dust control in mining. Pittsburgh, PA: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication. – 2003. – № 147. – PP. 73-81.

133. Ouchterlony F. Fragmentation characterization; the Swebrec function and its use in blast engineering / F. Ouchterlony // Proceedings of the 9th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting-Fragblast. – Granada: CRC Press, 2009. – PP. 3-22.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Акт внедрения результатов диссертационной работы

Утверждаю

Генеральный директор АО «Гавриловское  
карьероуправление»  
Магомедов Гаджи Сиражуудинович



Дата: 09 апреля 2024 г.

АКТ

о внедрении результатов  
кандидатской диссертации

«Обоснование способов подавления респирабельной фракции пыли при  
производстве массовых взрывов на гранитных карьерах»  
Каримова Артура Маратовича по специальности  
2.10.3 – Безопасность труда

Рабочая комиссия в составе:

Председатель: Кобелев С.Н. Главный инженер;

Члены комиссии:

Тюлькин С.А., зам. главного инженера по БВР;

Паршин А.Н., начальник ПТО;

Шпакова С.А., инженер по ТБ и ОТ.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертации на тему «Обоснование способов подавления респирабельной фракции пыли при производстве массовых взрывов на гранитных карьерах», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук, использованы в акционерном обществе «Гавриловское карьероуправление» при разработке методических указаний и рекомендаций для планирования и производства буровзрывных работ, с целью снижения выделения респирабельной фракции пыли при производстве массовых взрывов в виде:

- технических предложений и рекомендаций по подготовке взрываемого блока и модернизации скважинного заряда для подавления частиц пыли респирабельной фракции выделяющихся в результате производства массового взрыва;
- методик расчета и моделирования выделения пыли различной фракции при производстве массовых взрывов;

– программного комплекса для расчета параметров буровзрывных работ с наименьшим выделением респираторной фракции пыли при производстве массовых взрывов.

Использование указанных результатов позволяет:

- повысить эффективность методов пылеподавления респираторной фракции пыли образованной в результате массового взрыва;
- планировать массовые взрывы с рассчитанными параметрами буровзрывных работ для снижения выделения респираторной фракции пыли.

**Председатель комиссии**  
Главный инженер



Кобелев С.Н.

**Члены комиссии:**

Зам. главного инженера по БВР



Тюлькин С.А.

Начальник ПТО



Паршин А.Н.

Инженер по ТБ и ОТ



Шпакова С.А.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
№ 2022663908

**Программа для определения гранулометрического и дисперсного состава частиц образованных в результате массового взрыва**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)*

Авторы: *Коршунов Геннадий Иванович (RU), Афанасьев Павел Игоревич (RU), Каримов Артур Маратович (RU)*

Заявка № 2022662353  
Дата поступления 04 июля 2022 г.  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ 21 июля 2022 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности



*Ю.С. Зубов*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**RU2022663908**

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ  
**ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ**

Номер регистрации (свидетельства): 2022663908 Дата регистрации: 21.07.2022 Номер и дата поступления заявки: 2022662353 04.07.2022 Дата публикации и номер бюллетеня: 21.07.2022 Бюл. № 8	Автор(ы): Коршунов Геннадий Иванович (RU), Афанасьев Павел Игоревич (RU), Каримов Артур Маратович (RU) Правообладатель(и): федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет» (RU)
--	---

Название программы для ЭВМ:  
**Программа для определения гранулометрического и дисперсного состава частиц образованных в результате массового взрыва**

**Реферат:**  
 Практическое использование программы возможно в рамках проектирования массовых взрывов на горных предприятиях. Программа поможет выбрать параметры буровзрывных работ, снижающие выделение мелкодисперсной фракции пыли. Например, подобрать подходящий буровой станок для бурения взрывных скважин. Программа предназначена для расчёта гранулометрического и дисперсного состава частиц, образованных в результате взрыва, с помощью трёх формул, Розин – Рамлера, Swebrec, Логарифмически нормальное распределение. Программа включает в себя формулы и схему выбора оптимальных формул для наиболее точного прогноза выделения частиц. Программа обеспечивает выполнение следующих функций: прогнозирует равномерность дробления; определяет процентный выход частиц заданного размера; строит графики функции процентного выхода частиц от их размера.

**Язык программирования:** Visual Basic  
**Объем программы для ЭВМ:** 49 КБ