

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

На правах рукописи

КОРНЕВА Мария Валерьевна



**РАЗРАБОТКА И ОБОСНОВАНИЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ
КОНЦЕНТРАЦИИ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ В ПЫЛЕВОМ
АЭРОЗОЛЕ УГОЛЬНЫХ ШАХТ**

Специальность 05.26.01 – Охрана труда (в горной промышленности)

**Диссертация
на соискание учёной степени кандидата технических наук**

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

Санкт-Петербург – 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА ПО ОЦЕНКЕ И УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ПЫЛЕВОМУ ФАКТОРУ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	10
1.1 Краткая характеристика роли угольной отрасли в современном мире и перспектив ее развития.....	10
1.2 Современное состояние условий труда по пылевому фактору и уровень профзаболеваемости пылевой этиологии на угольных шахтах	15
1.3 Анализ методик оценки условий труда при воздействии аэрозолей преимущественно фиброгенного действия	28
1.4 Основные способы борьбы с пылью при ведении горных работ.....	35
1.5 Выводы по первой главе.....	48
ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЗАПЫЛЕННОСТИ И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС»	50
2.1 Горно-геологические условия, физико-механические и физико-химические свойства углей	51
2.2 Анализ эффективности применяемых методов, способов и средств обеспечения снижения запыленности.....	55
2.3 Натурные исследования динамики запыленности.....	57
2.4 Определение дисперсного состава пылевого аэрозоля.....	65
2.5 Теоретические исследования пылединамических процессов	74
2.6 Анализ факторов, влияющих на запыленность и содержание тонкодисперсных частиц в пылевом аэрозоле	80

2.7 Разработка рекомендаций по учету содержания тонкодисперсных частиц в пылевом аэрозоле при оценке пылевых нагрузок на работников.....	90
2.8 Выводы по второй главе	96
ГЛАВА 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА ШАХТНОГО СМАЧИВАТЕЛЯ	98
3.1 Анализ физико-химических свойств применяемых шахтных смачивателей.....	98
3.2 Разработка смачивателя на основе алкилполигликозидов	102
3.3 Определение оптимальной концентрации рабочего раствора шахтного смачивателя для углеродной пыли различного состава.....	117
3.4 Определение эксплуатационных характеристик предлагаемого смачивателя.	124
3.5 Выводы по третьей главе.....	126
ГЛАВА 4 АПРОБАЦИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ В ВОЗДУХЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....	128
4.1 Натурные испытания эффективности разработанного смачивателя в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс»	128
4.2 Рекомендации по снижению содержания тонкодисперсных фракций в воздухе очистных и подготовительных забоев	137
4.3 Разработка схемы производства смачивателя и ее технологический расчет ...	139
4.4 Технико-экономическое обоснование технологической линии производства шахтного смачивателя	147
4.5 Выводы по четвертой главе.....	155
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	158
ПРИЛОЖЕНИЕ А Акт эксплуатационных испытаний шахтного смачивателя...	175

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности.

Угольная промышленность остается одной из основных отраслей топливно-энергетического комплекса России. За последние 15 лет объемы угледобычи выросли с 298,5 млн т в 2005 г. до 439,2 млн т в 2019 г. Одна треть всего ежегодно добываемого в стране угля приходится на подземный способ. Только в 2019 году шахтами выдано на гора 107,3 млн т, а средняя суточная нагрузка на комплексно-механизированный очистной забой составила 4603 т при максимальном значении 30 000 т и более.

С повышением интенсивности ведения горных работ отмечается рост запыленности в подземных горных выработках, сопровождаемый увеличением содержания тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле. Среднесменная концентрация пыли на рабочем месте машиниста комбайна в очистных и подготовительных забоях составляет от 30-40 до 150-240 мг/м³, а при неудовлетворительном функционировании средств гидрообеспыливания – превышает технически достижимый уровень (ТДУ).

Негативное изменение пылевой обстановки приводит к повышенному риску и преждевременности развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии, что подтверждается статистическими данными Роспотребнадзора. Доля пневмокониозов и пылевых бронхитов в группе профессиональных заболеваний, вызванных воздействием на организм работников промышленных аэрозолей в 2018 г. составила 42,8 %. Наибольшее количество трудящихся, работающих под воздействием аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (АПФД), насчитывается в угледобывающей отрасли – 37,4 % при среднесписочной численности работающих 157 800 человек.

Профессиональные заболевания, связанные с воздействием на человека промышленных аэрозолей, в частности угольной пыли, являются одними из наиболее распространенных, занимая третье место в общем списке (15,89 %) после заболеваний, связанных с воздействием физических факторов (49,85 %), с физическими перегрузками и перенапряжением (24,73 %). На угольных шахтах

заболевания пылевой этиологии относятся к числу наиболее распространенных. Чаще всего силикозы, антракозы и пылевые бронхиты фиксируются среди машинистов комбайнов, горнорабочих подземных, проходчиков, горнорабочих очистного забоя.

В решение вопроса улучшения пылевой обстановки на шахтах внесли значительный вклад такие учёные как И.Г. Ищук, Б.Ф. Кирин, Ю.В. Шувалов, М.М. Сметанин, С.Н. Подображин, С.Б. Романченко, К.А. Лебецки, А.А. Трубицын, О.В. Скопинцева, Г.А. Поздняков, В.В. Кудряшов, С.С. Кубрин, В.В. Соболев, С.И. Голоскоков, А.С. Кобылкин, В.И. Дрёмов, J.F. Colinet, J.M. Listak, T.X. Ren, X. Chen, Y. Zhang, Q. Wang и др.

В настоящее время применяемые средства по борьбе с пылью не учитывают особенностей вещественного и дисперсного состава пылевого аэрозоля, ряд горнотехнических и горногеологических факторов и их динамику, вследствие чего не обеспечивают достаточную эффективность противопылевых мероприятий. Существующая методика расчета пылевой нагрузки на органы дыхания не учитывает фактическое содержание наиболее опасных для человека частиц респирабельной фракции в воздухе на рабочих местах, приводя к завышению максимально допустимого стажа работы и несвоевременности проведения лечебно-профилактических мероприятий.

Таким образом, разработка научно-обоснованных мероприятий по снижению запыленности и концентрации тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле угольных шахт и разработка рекомендаций по их прогнозу и учету при оценке условий труда является актуальной задачей в условиях высокоинтенсивной угледобычи.

Цель работы. Улучшение условий труда работников очистных и подготовительных забоев угольных шахт по пылевому фактору за счет целенаправленного снижения концентрации тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле.

Идея работы. Снижение концентрации тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле достигается за счет применения раствора смачивателя на основе неионогенных и амфотерных поверхностно-активных веществ (ПАВ), оптимальная концентрация которого определяется исходя из времени смачивания углеродной пыли, зависящего от ее физико-химических свойств и состава.

Основные задачи исследования:

1. Оценка современного состояния условий труда по пылевому фактору и профессиональной заболеваемости на угольных шахтах.
2. Анализ способов и средств по борьбе с пылью, применяемых на предприятиях угольной отрасли.
3. Исследование динамики запыленности и дисперсного состава пылевого аэрозоля в очистных забоях угольных шахт.
4. Анализ подходов к оценке условий труда при воздействии АПФД и связанных с ним профессиональных рисков, разработка рекомендаций по учету концентрации пыли тонкодисперсных фракций в аэрозоле при расчете пылевых нагрузок на работников.
5. Разработка мероприятий и рекомендаций по повышению эффективности пылеподавления тонкодисперсных пылевых фракций при ведении очистных и подготовительных работ на угольных шахтах и их апробация.

Научная новизна:

- установлены зависимости содержания тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле от физико-механических свойств углей и горнотехнических факторов;
- установлена зависимость времени смачивания углеродной пыли различного состава от концентрации смачивателя, изготовленного на основе неионогенных и амфотерных ПАВ;
- доказано, что применение 0,05 %-ного раствора смачивателя на основе неионогенных и амфотерных ПАВ позволяет снизить концентрацию пыли в воздухе на 10,3-15,7 %, содержание респирабельной фракции в пылевом аэрозоле на 19,1-24,6 % и торакальной фракции на 20,4-25,9 % по сравнению с аналогом.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- предложена методика расчета пылевой нагрузки, учитывающая воздействие на работников пыли респирабельной фракции и различие в ее концентрации на рабочих местах;
- получены математические модели, позволяющие прогнозировать в очистных забоях угольных шахт концентрацию витающей пыли и содержание в ней респирабельных и торакальных фракций;
- разработан состав шахтного смачивателя на основе неионогенных и амфотерных ПАВ, даны рекомендации по его применению, позволяющие повысить эффективность пылеподавления;
- разработана принципиальная технологическая схема производства предлагаемого шахтного смачивателя на базе АО «СУЭК-Кузбасс» и проведены технико-экономические расчеты, подтверждающие целесообразность ее реализации на практике.

Основные защищаемые положения:

1. Прогноз запыленности и содержания тонкодисперсных частиц в пылевом аэрозоле, а также выбор мероприятий по их снижению должен осуществляться с учетом состава и физико-механических свойств углей, горно-геологических и горнотехнических факторов.
2. Для своевременного проведения мероприятий по предупреждению у работников угольных шахт заболеваний пылевой этиологии и объективного определения максимально допустимого рабочего стажа в условиях воздействия АПФД при расчете пылевой нагрузки необходимо учитывать содержание респирабельной фракции в пылевом аэрозоле.
3. Повышение эффективности пылеподавления, в том числе тонкодисперсных частиц, достигается применением раствора смачивателя на основе неионогенных и амфотерных поверхностно-активных веществ, оптимальная концентрация которого зависит от физико-химических свойств углеспородной пыли.

Методология и методы исследований. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования, включающие анализ условий труда и профессиональной заболеваемости пылевой этиологии на угольных шахтах; обзор отечественного и зарубежного опыта по борьбе с пылью на предприятиях горнодобывающей отрасли; патентный поиск; метод электронной микроскопии с применением микроскопа «Leica DM4000 B LED» и программного обеспечения «Leica Application Suite»; лабораторные методы определения физико-химических свойств и смачивающей способности ПАВ и смачивателей, такие как химический анализ, инфракрасная спектроскопия, пленочная флотация, рН-метрия, определение динамической вязкости; гравиметрический метод и метод изменения аэродинамического сопротивления фильтра, лежащие в основе работы пылемеров АЭРА, СІР-10 и ПКА-01, используемых для проведения шахтных исследований динамики запыленности и дисперсного состава пылевого аэрозоля; корреляционно-регрессионный анализ.

Достоверность научных положений подтверждается значительным объемом теоретических, лабораторных и шахтных исследований при удовлетворительной их сходимости, применением современных методик и оборудования для анализа физико-химических свойств углей и их смачиваемости, свойств и смачивающей способности ПАВ, положительным опытом применения предлагаемых в работе мероприятий и рекомендаций на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на III и IV международных научно-практических конференциях «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке» (Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, 2016 г., 2018 г.), международной 57-ой научной конференции студентов и молодых ученых (Краковская горно-металлургическая академия, г. Краков, Польша, 2016 г.), международной конференции на базе Фрайбергской Горной Академии, (г. Фрайберг, Германия, 2017 г.), международной научно-практической конференции «Поземная угледобыча в 21

веке» (г. Ленинск-Кузнецкий, 2018 г.), а также на заседаниях НТС АО «СУЭК-Кузбасс» (г. Ленинск-Кузнецкий, 2017-2019 гг.).

Реализация результатов работы. Разработанные мероприятия и рекомендации по оценке и снижению концентрации пыли тонкодисперсных фракций в воздухе горных выработок учтены при планировании противопылевых мероприятий на угольных шахтах АО «СУЭК-Кузбасс».

Личный вклад автора заключается в проведении анализа мирового опыта по борьбе с пылью на угольных шахтах, рассмотрении подходов к оценке пылевой нагрузки на органы дыхания работников, состояния условий труда по пылевому фактору и уровню профессиональной заболеваемости пылевой этиологии в угольной отрасли, выборе методики исследований, проведении теоретических исследований пылединамических процессов в горных выработках, проведении лабораторных исследований по разработке смачивателя, проведении шахтных экспериментов по изучению дисперсного состава пылевого аэрозоля на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» и снижению запыленности, обработке и анализе полученных результатов, формулировании основных научных положений и выводов.

Публикации. Результаты диссертационной работы в достаточной степени освещены в 11 печатных работах, в том числе в 6 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, из них 3 статьи – в изданиях, входящих в международные базы данных и системы цитирования Scopus.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из оглавления, введения, 4 глав с выводами по каждой из них, заключения, библиографического списка и одного приложения. Работа изложена на 175 страницах машинописного текста, содержит 66 таблиц и 55 рисунков. Библиографический список включает 138 наименований.

ГЛАВА 1 АНАЛИЗ МИРОВОГО ОПЫТА ПО ОЦЕНКЕ И УЛУЧШЕНИЮ УСЛОВИЙ ТРУДА ПО ПЫЛЕВОМУ ФАКТОРУ НА УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

1.1 Краткая характеристика роли угольной отрасли в современном мире и перспектив ее развития

Прежде чем рассматривать условия труда в угольной промышленности, целесообразно охарактеризовать ее место в мире, современное состояние и перспективы развития.

Угледобывающая отрасль, несмотря на сложную и динамично изменяющуюся обстановку на международной арене, продолжает играть ведущую роль в мировой экономике. На фоне роста объемов мирового производства электроэнергии за счет использования газа и возобновляемых источников (23,2 % и 9,3 % соответственно), уголь с долей 38 % занимает доминирующее положение в мировой энергетике и является важнейшим энергоресурсом [62, 118].

По подсчетам «Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR)» мировые запасы угля на конец 2018 г. составляют 1054,782 млрд. т., более 2/3 которых сосредоточено в четырех странах: Соединенных Штатах Америки – 250 219 млн. т (24 %), России – 160 364 млн. т (15 %), Австралии – 147 435 млн. т (14 %) и Китае – 138 819 млн. т (13 %) [118].

Объем производства коммерческих углей вырос за последнее десятилетие на 12,94 % (506,8 млн. т) с 3410,0 млн. т в 2008 г. до 3916,8 млн. т в 2018 г.. Крупнейшими угледобывающими странами являются Китай – добыто 1828,8 млн. т в 2018 г., что составляет 46,7 % от мирового объема добычи, США – 364,5 млн. т (9,3 %), Индонезия – 323,3 млн. т, (8,2 %) Индия – 308,0 млн. т (7,9 %), Австралия – 301,1 млн. т (7,7 %), Россия – 220,2 млн. т (5,6 %), Южная Африка – 143,2 млн. т (3,7 %). Динамика производства угля регионами мира приведена на рисунке 1.1.

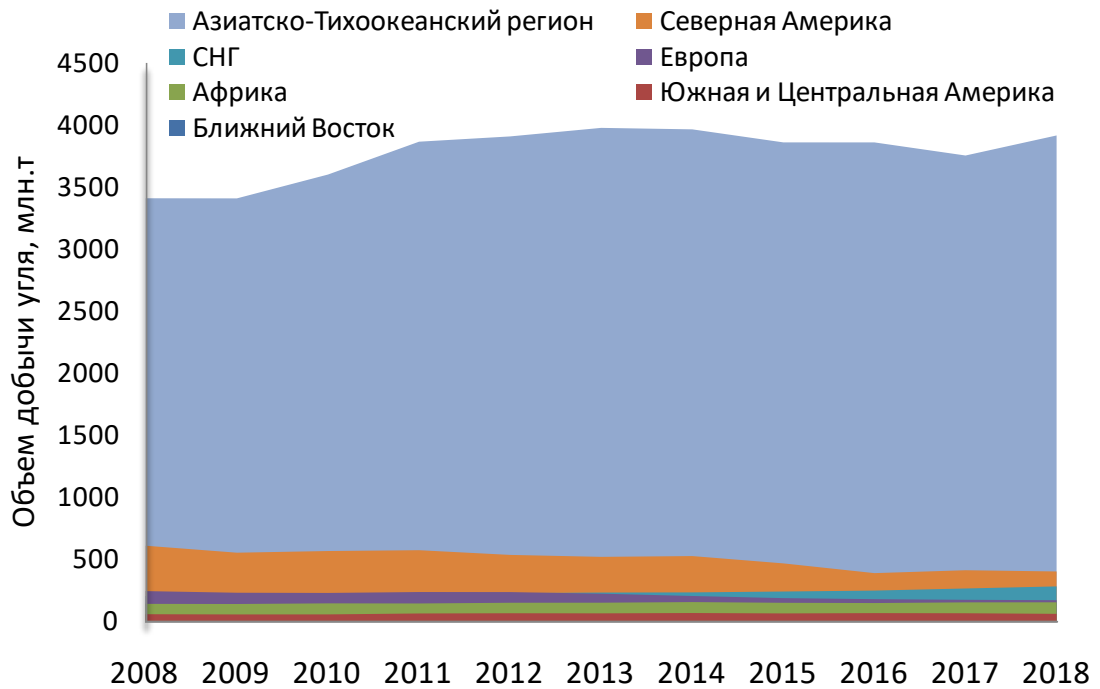


Рисунок 1.1 – Распределение объемов мировой добычи угля по регионам [118]

Россия занимает 5-е место в мире по потреблению коммерческих видов углей – 88 млн. т в 2018 г. (2,3 %) и обеспечивает 12,9 % мировой торговли энергетическими и до 6,5 % коксующимися углями [20, 70, 71, 102, 118].

Основная часть российских запасов высококачественного угля (более 79 %) сосредоточена в 3-х крупнейших угольных бассейнах – Кузнецком, Канско-Ачинском и Тунгусском, которые расположены на значительном удалении как от потребителей внутри страны, так и от потребителей за ее пределами [70, 71, 102].

В настоящее время на территории России добыча угля ведется на 57 шахтах и 130 разрезах, расположенных в пределах 22 угольных бассейнов. За период с 2005 г. по 2019 г. отмечается рост объема производства угля почти в 1,5 раза с 298,5 млн. т до 439,2 млн. т по данным Росстата или с 299,8 млн. т до 441,4 млн. т по данным отчетов угледобывающих компаний (рисунок 1.2). При этом 1/3 добывается подземным способом, 2/3 – открытым, в 2019 г. – 107,3 млн. т и 334,1 млн. т соответственно. Среднесуточная нагрузка на комплексно-механизированный забой (КМЗ) с 2000 г. по 2019 г. увеличилась на 71,2 % (рисунок 1.3) при снижении более чем в 3 раза числа действующих очистных забоев (со 170 до 52).



Рисунок 1.2 – Динамика добычи угля в России, млн. т [99]

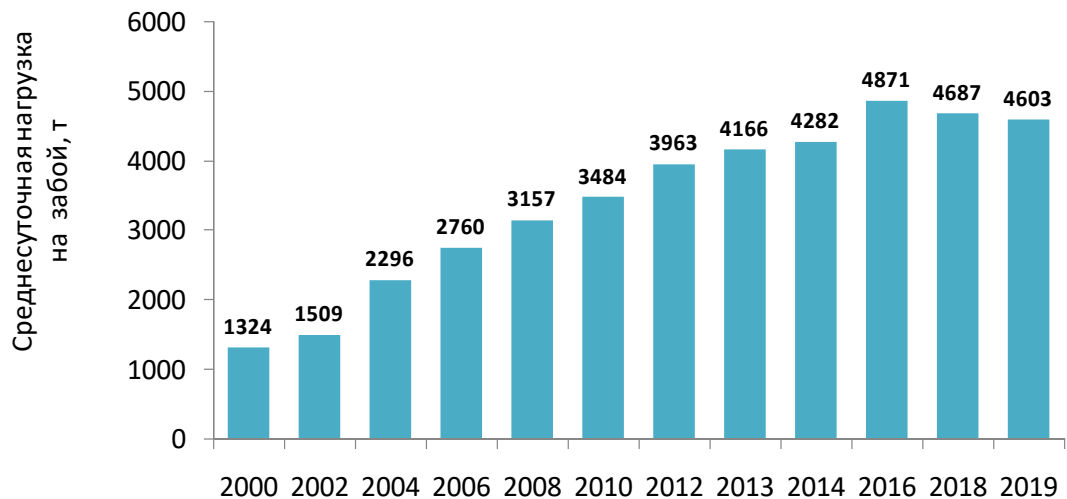


Рисунок 1.3 – Динамика среднесуточной нагрузки на КМЗ, т [99]

По итогам 2019 г. лидерами по добыче угля в России являются АО «СУЭК» – 106,172 млн. т (24,2 %), АО «УК «Кузбассразрезуголь» – 42,555 млн. т (9,7 %), ООО «ЕвразХолдинг» – 26,039 млн. т (5,9 %), АО ХК «СДС-Уголь» – 24,568 млн. т (5,6 %), группа «Сибантрацит» – 23,042 млн. т (5,2 %). Почти половина добываемого в стране угля (43,6 %) идет на экспорт [99].

На шахтах АО «СУЭК» отмечаются наиболее высокие среднесуточные нагрузки на КМЗ, достигшие 10101 т/сут. и планируется их дальнейшее увеличение до 10893 т/сут. в 2020 году в том числе за счет ввода в работу новых лав длиной 350, 360 и 400 м. Объем добычи угля в Компании за период с 2005 г.

по 2019 г. вырос на 30,7 % (рисунок 1.4), при росте производительности труда в 2,4 раза, несмотря на ухудшение условий отработки запасов [1, 2].

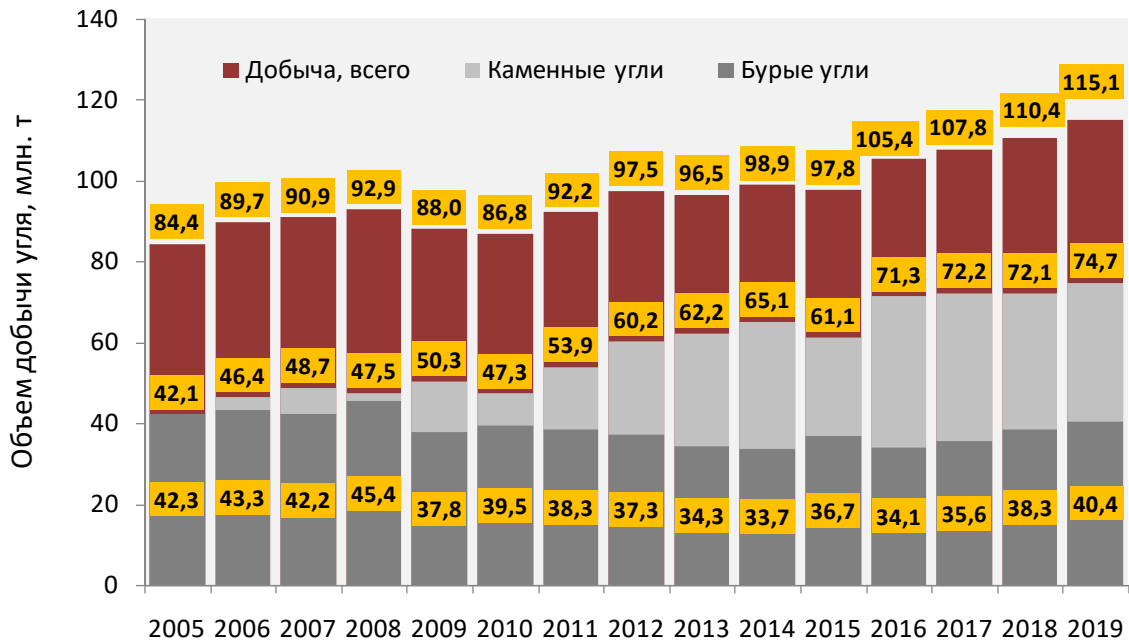


Рисунок 1.4 – Динамика добычи угля в АО «СУЭК», млн.т [1, 2]

Как видим, тенденция развития угольной отрасли является положительной. Однако, дальнейшее ее успешное движение вперед будет зависеть от конъюнктуры мирового рынка и международной энергетической политики, которая в настоящее время недостаточно благоприятная. Ряд стран Европейского Союза, в частности, Франция, Великобритания, Германия, в соответствии с условиями Парижского соглашения по вопросам снижения парниковых газов в атмосферу, подписанного в 2016 г., взяли курс на закрытие угледобывающих предприятий, постепенное снижение потребления угля и развитие альтернативной энергетики. Сокращается добыча угля и в других крупнейших угледобывающих странах – в Китае, США, Индонезии. Цена на энергетический уголь снизилась с 88-100 \$ до 54 \$ за тонну к концу 2019 г. по сравнению с предыдущим периодом [99, 115, 118]. Рентабельность угольной отрасли в России зависит не только от спроса на уголь на внешнем и внутреннем рынках и объема экспорта, но и роста операционных и транспортных расходов, связанных с импортом зарубежной горнодобывающей техники и со значительной удаленностью горного производства от потребителя.

Тем не менее, угольная промышленность является одной из системообразующих в экономике страны. До 44 % грузооборота в России обеспечивается за счет перевозок угля железнодорожным транспортом. До 50 % электроэнергии в Сибири и на Дальнем Востоке генерируется ТЭС, работающими на угле. Для 31 моногорода с населением в более чем 1,5 млн. человек шахты, разрезы и углеобогатительные фабрики являются градообразующими. В угольной отрасли работает 157 800 человек. Непосредственно в добыче угля занято 91 600 человек, из которых 39 600 – работники угольных шахт. По оценкам Института проблем естественных монополий (ИПЕМ), вклад угольной промышленности в ВВП России в 2018 г. составил 1 % и прогнозируется его увеличение [91, 99].

В соответствии с «Прогнозом долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года» и проектом «Программы развития угольной промышленности России на период до 2035 года» планируется увеличение объемов угледобычи до 430-470 млн. т к 2030 г. и до уровня 550-670 млн. т к 2035 г. соответственно. Снижение спроса угля на европейском рынке планируется компенсировать за счет расширения поставок в страны Африки и Ближнего Востока, наращивания экспорта с 88 млн. т в 2018 г. до 214-220 млн. т к 2035 г. в страны Азиатско-Тихоокеанского региона: Китай, Индию, Малайзию, Японию, Корею [21, 69, 71, 73].

Для достижения указанных целевых показателей программой развития угольной промышленности России предусмотрено:

- дальнейшее развитие железнодорожной инфраструктуры, включая расширение Байкало-Амурской и Транссибирской магистралей;
- развитие как существующих центров угледобычи, так и освоение новых угольных месторождений на Дальнем Востоке и в арктике;
- внедрение современной высокопроизводительной техники и технологий, отвечающих мировым экологическим нормам;
- реализация технологий глубокой переработки угля с получением продукции широкой номенклатуры;

– внедрение повсеместной автоматизации и роботизации горных работ, геоинформационных технологий [20, 71, 73].

Прогнозируется интенсификация развития обрабатывающих производств и сферы услуг, за счет чего предполагается рост потребления электроэнергии и увеличение спроса на уголь и газ [69, 72, 73].

Таким образом, несмотря на падение спроса и цен на уголь, а также наличие ряда сдерживающих факторов, дальнейшее развитие угольной отрасли России, учитывая запасы высококачественного угля и намеченную политику государства, представляется благоприятным.

1.2 Современное состояние условий труда по пылевому фактору и уровень профзаболеваемости пылевой этиологии на угольных шахтах

Наращивание производственных мощностей немислимо без обеспечения безопасных условий труда. Если рассматривать все основные сферы экономической деятельности в России, то доля работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, составляет 37,9 %. К числу наиболее вредных факторов после тяжести, шума, химического фактора, вибрации и напряженности относятся аэрозоли преимущественно фиброгенного действия. Угледобывающая отрасль лидирует среди других видов экономической деятельности как по численности персонала, работающего на местах с преобладанием вредных и опасных факторов – 79,1 % (рисунок 1.5), так и по удельному весу работников, трудящихся в условиях воздействия АПФД (рисунок 1.6). Основными вредными факторами на рабочих местах в угольных шахтах и разрезах, являются тяжесть трудового процесса (удельный вес людей, задействованных в таких условиях, составляет 57,2 %), шум – 47,1 % трудящихся находятся под его воздействием, АПФД – 37,4 % работников и вибрация – 23,2 % (рисунок 1.7) [6, 85].

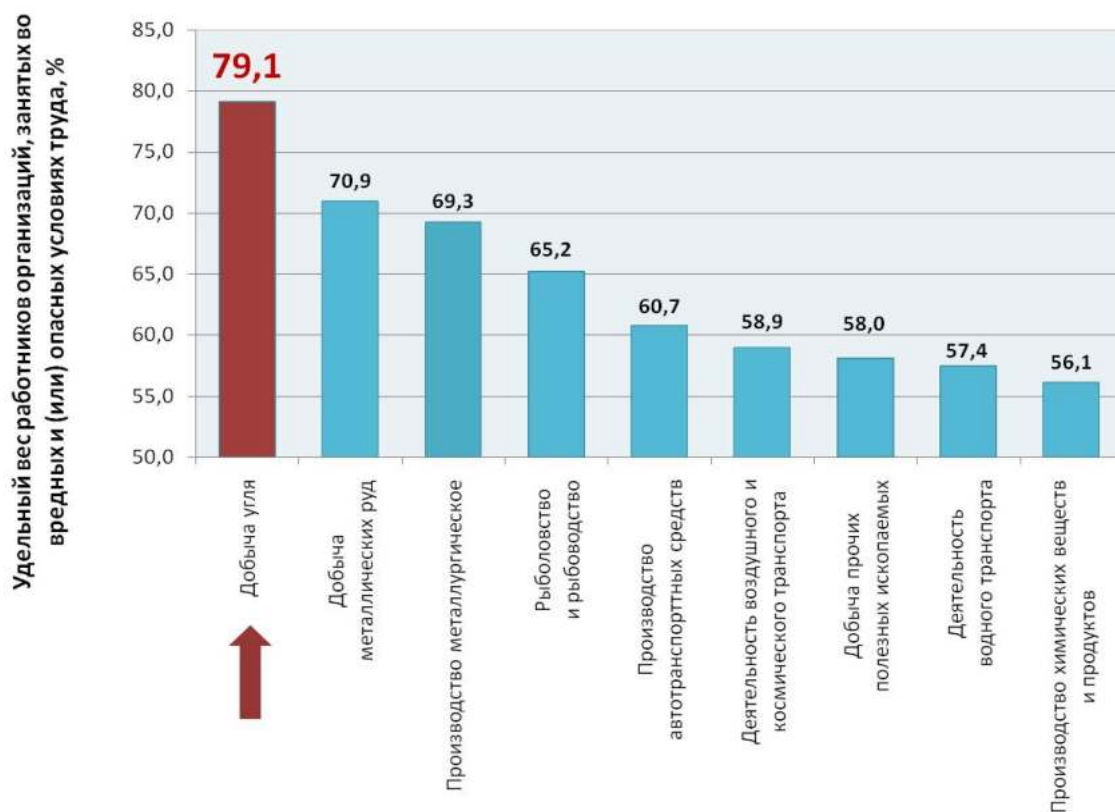


Рисунок 1.5 – Доля работников, занятых на работах с вредными и (или) опасными условиями труда согласно данным Росстата за 2018 г. [85]

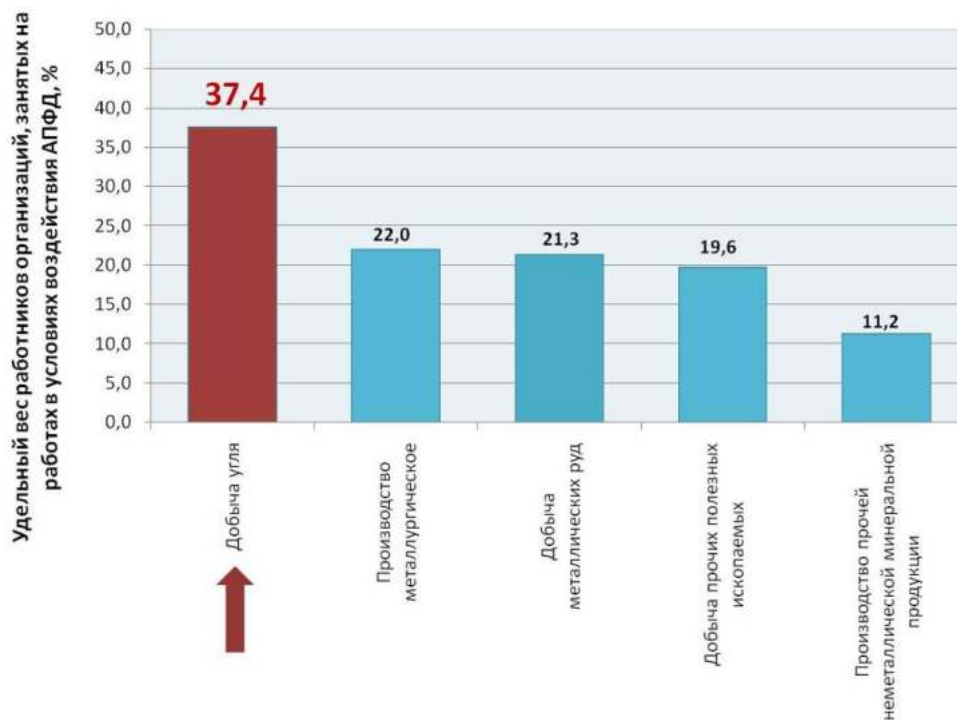


Рисунок 1.6 – Виды экономической деятельности с наибольшим удельным весом работников, трудящихся под воздействием АПФД [85]

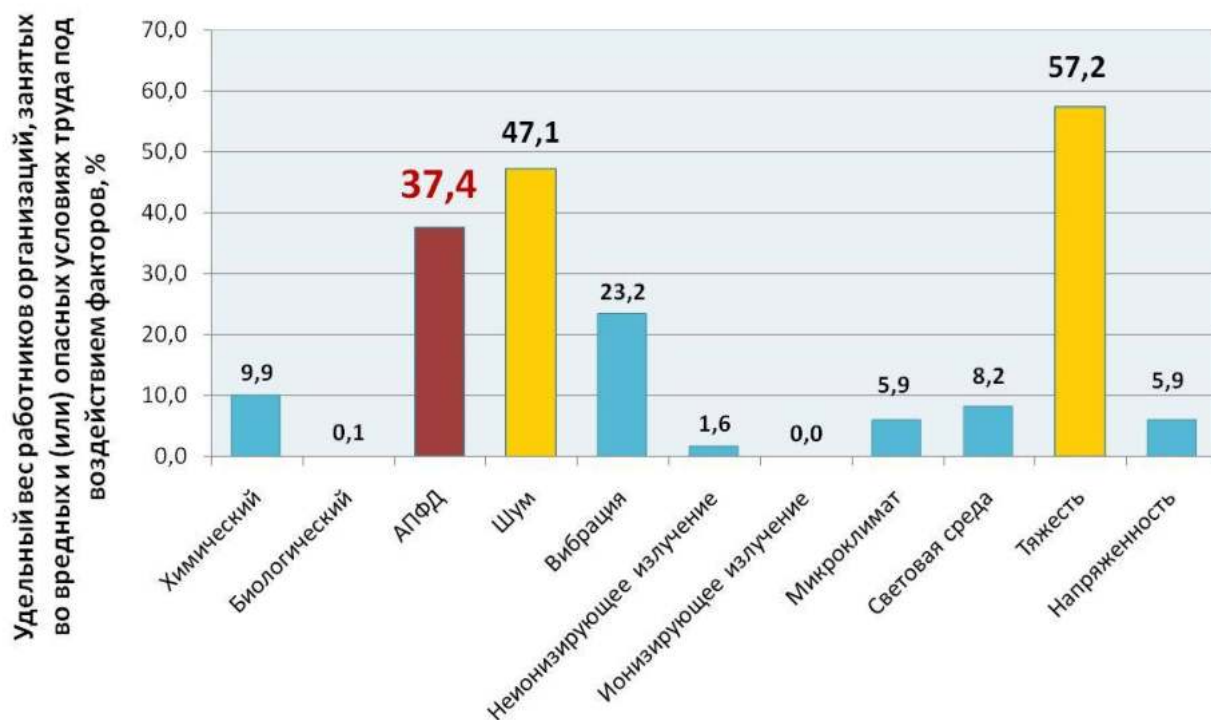


Рисунок 1.7 – Распределение доли работников угольной отрасли, занятых во вредных и (или) опасных условиях труда, по видам воздействующих факторов [85]

Наибольшая доля работников, которым установлены гарантии и компенсации, связанные с работой во вредных и опасных условиях, приходится также на сферу добычи угля – 79,6 % от общей численности. Наиболее высокий процент трудящихся, которые обеспечиваются средствами индивидуальной защиты за счет работодателя, также зафиксирован в угольной отрасли – более 90,8 %. Максимальные фактические расходы на компенсации и средства индивидуальной защиты зафиксированы на предприятиях по добыче полезных ископаемых – 14 495 рублей на одного работника в год. Для сравнения в сфере транспортировки и хранения эти затраты составляют 11 295 рублей на одного человека, на обрабатывающих производствах – 8 712 рублей, в сельском и лесном хозяйстве – 5 714 рублей.

Исходя из вышесказанного, следует, что наиболее неблагоприятные условия труда, способствующие преждевременной утрате профессиональной трудоспособности, зафиксированы у работников угольных шахт и разрезов, рудников и карьеров, а также металлургических заводов.

По данным Роспотребнадзора наибольший удельный вес впервые выявленных профессиональных заболеваний в 2018 г. зафиксирован среди рабочих горнодобывающей отрасли – 47,59 %.

В структуре профессиональной патологии заболевания, связанные, с воздействием промышленных аэрозолей, с долей 15,89 % находятся на третьем месте после заболеваний, вызванных воздействием физических факторов, и заболеваний, обусловленных физическими перегрузками и перенапряжением, доли которых 49,85 % и 24,73 % соответственно (рисунок 1.8). Суммарное количество заболеваний, возникших в результате воздействия иных факторов, составляет менее 10 % от общего числа [59].



Рисунок 1.8 – Виды профессиональных заболеваний с наиболее высоким удельным весом в структуре профессиональной патологии [59]

Количество выявленных в 2018 г. заболеваний, вызванных длительным воздействием на органы дыхания работников витающей пыли, снизилось на 2,93 % по сравнению с 2017 г., но возросло на 0,13 % по сравнению с 2016 г.

Наиболее распространенными формами профзаболеваний, связанных с воздействием промышленных аэрозолей, являются пневмокониозы (силикозы) и пылевые бронхиты, составляющие 22,56 % и 20,24 % соответственно в общей структуре [59]. Динамика их за 5 лет приведена в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Доля пневмокониозов и пылевых бронхитов в структуре профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием АПФД

Вид заболевания	Доля в общей структуре (%) по годам				
	2014	2015	2016	2017	2018
Пневмокониозы (силикозы)	24,42	22,05	23,2	25,87	22,56
Пылевые бронхиты	16,79	20,37	18,58	21,54	20,24

Из данных, приведенных в таблице, не прослеживается ярко выраженной тенденции снижения доли силикозов и пылевых бронхитов, тренд является скачкообразным. Это, в свою очередь, свидетельствует о непостоянстве пылевой обстановки на рабочих местах и об отсутствии видимых устойчивых ее изменений в лучшую сторону.

Заболевания органов дыхания среди работников на угольных шахтах являются наиболее распространенными после заболеваний, обусловленных физическими перегрузками, нейросенсорной тугоухости и вибрационной болезни. Например, на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» в 2012-2016 гг. впервые зафиксировано среди работников 14 случаев заболеваний пылевым бронхитом, не считая случаев силикозов и антракозов (рисунок 1.9). Доля заболеваний органов дыхания в структуре профессиональной патологии зависит от пылевой обстановки на рабочих местах в конкретной шахте, эффективности применяемых средств обеспыливания и выбранного периода наблюдений. На рисунках 1.10 и 1.11 приведены данные по доли пневмокониозов и пылевых бронхитов в структуре профессиональных заболеваний, выявленных у работников на шахте имени В.Д. Ялевского и шахте «Талдинская-Западная-2» АО «СУЭК-Кузбасс» за десятилетний период.

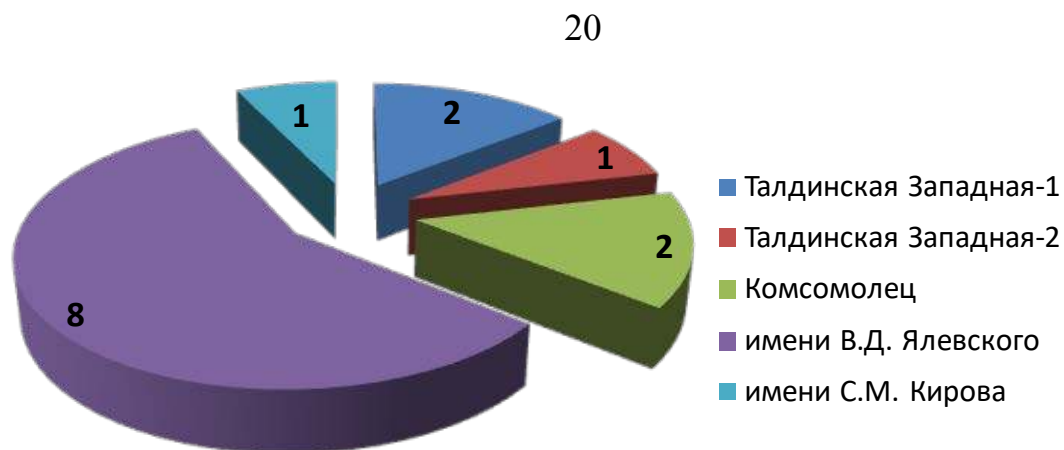


Рисунок 1.9 – Количество выявленных случаев профзаболеваний пылевым бронхитом на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» в период с 2012 по 2016 гг.



Рисунок 1.10 – Структура профессиональной патологии на шахте имени В.Д. Ялевского АО «СУЭК-Кузбасс» за 2009-2018 гг.

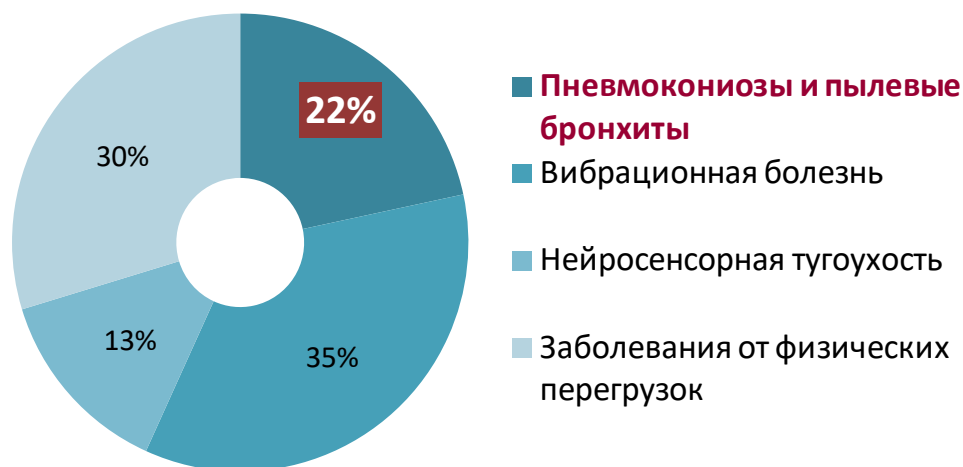


Рисунок 1.11 – Структура профессиональной патологии на шахте «Талдинская-Западная-2» АО «СУЭК-Кузбасс» за 2010-2019 гг.

Общее количество зафиксированных профзаболеваний составило 80 и 37 соответственно, из которых 10 и 8 случаев – заболевания пылевой этиологии. На шахте «Талдинская-Западная-1» АО «СУЭК-Кузбасс» за период с 2010 по 2019 гг. выявлены 64 заболевания, в том числе 4 случая пылевого бронхита. На шахте «имени С.М. Кирова», где запыленность в очистных и подготовительных забоях минимальная по сравнению с другими шахтами АО «СУЭК-Кузбасс», в 2011-2017 гг. зафиксировано 3 случая заболевания пневмокониозом и 1 случай заболевания пылевым бронхитом при 78 выявленных профзаболеваниях в общем. Ситуация с заболеваниями пылевой этиологии на других угольных шахтах России стоит еще более остро по сравнению с шахтами Кузбасса, на которых руководство компаний вкладывает много сил и средств в улучшение условий труда работников по пылевому фактору. Так, например, на шахтах Восточного Донбасса бороться с пылью при ведении горных работ методами гидрообеспыливания еще сложнее, так как большинство добываемых там углей относятся к антрацитам, являющимся гидрофобными. Пылевая обстановка в очистных забоях указанных шахт осложняется еще и малым сечением лав, обусловленным отработкой угольных пластов малой мощности, варьирующейся от 0,9 до 1,5 м. Это, в свою очередь, отрицательно влияет на показатели профессиональной патологии среди работников. Так, например, на шахте «Обуховская» в Ростовской области за меньший период времени – с 2012 по 2017 гг. зафиксировано 321 профессиональное заболевание (рисунок 1.12), что значительно больше количества заболеваний, выявленных на шахтах Кузбасса за аналогичный период. Наиболее распространенным видом заболевания является радикулопатия, связанная с длительным нахождением работников, прежде всего, машиниста комбайна и горнорабочих очистного забоя, в вынужденной согнутой позе. Заболевания пылевой этиологии наиболее распространены после радикулопатии и составляют примерно 1/3 от общего числа профзаболеваний (рисунок 1.13). К числу работников, наиболее подверженных вредному воздействию взвешенной углепородной пыли, относятся проходчики, горнорабочие очистного забоя,

машинисты комбайнов, горнорабочие подземные, электрослесари подземные, горные мастера и мастера-взрывники (таблица 1.2).

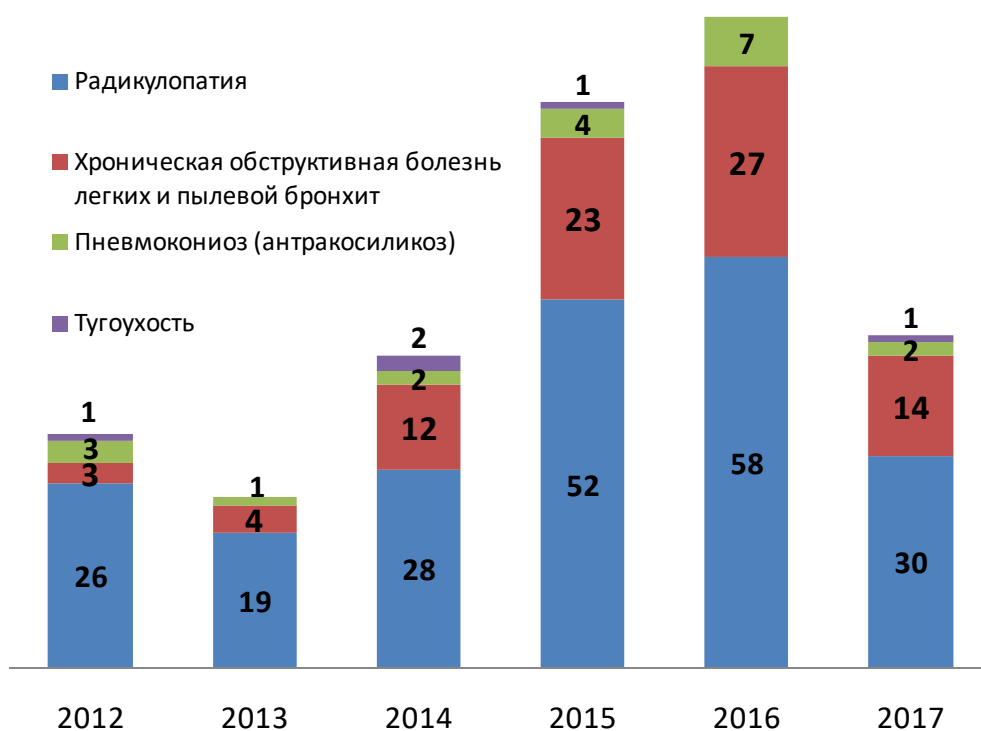


Рисунок 1.12 – Динамика профессиональных заболеваний на АО «Шахтоуправление «Обуховская» за 2012-2017 гг.



Рисунок 1.13 – Доля заболеваний органов дыхания в общей структуре профессиональных заболеваний на АО «Шахтоуправление «Обуховская» за 2012-2017 гг.

Таблица 1.2 – Распределение заболеваний пылевой этиологии, установленных в период 2012-2017 гг., среди работников АО «Шахтоуправление «Обуховская»

Наименование должности	Количество впервые зафиксированных заболеваний		
	Пневмокониоз (антракосиликоз)	Хроническая обструктивная болезнь легких и пылевой бронхит	Всего заболеваний пылевой этиологии
Проходчик	4	10	14
ГРОЗ	2	11	13
Горный мастер	2	10	12
Электрослесарь подземный	1	11	12
Мастер-взрывник	1	9	10
ГРП	0	8	8
ГРРГВ	1	4	5
Начальник участка	0	4	4
Помощник начальника участка	1	2	3
Машинист подъемных машин	1	2	3
Раздатчик ВМ	0	3	3
МГВМ	1	1	2
Электрослесарь поверхностный	1	1	2
Заместитель начальника	1	1	2
Начальник смены	0	2	2
Заместитель главного инженера по ТБ	1	1	2
Машинист бульдозера	1	1	2
Электрослесарь дежурный по ремонту оборудования	0	1	1
МПУ	1	0	1
Заведующий горными работами	0	1	1
Электрослесарь ручной сварки	1	0	1
ИТОГО	20	83	103

В ходе анализа данных по профзаболеваемости работников шахты «имени С.М. Кирова» АО «СУЭК-Кузбасс» было также установлено, что наиболее подвержены вредному воздействию промышленных аэрозолей такие категории работников как: горнорабочие очистного и подготовительного забоев, машинисты горных выемочных машин и подземные горнорабочие. Пневмокониоз встречается в основном среди трудящихся, задействованных на работах с вредными условиями труда 2-ой и 3-ей степеней, пылевой бронхит – с вредными

условиями труда 1-ой степени (таблица 1.3). У всех рассматриваемых категорий работников стаж работы по профессии более 20 лет.

Таблица 1.3 – Взаимосвязь вида профзаболевания пылевой этиологии с профессией, условиями труда и стажем работы

Профессия	Итоговый класс условий труда / класс по АПФД	Возраст	Общий стаж	Стаж работы по профессии	Стаж работы в Компании
пневмокониоз					
ГРОЗ	3.3 / 3.2	56	30,3	28	28
проходчик	3.3 / 3.2	57	30,7	28	28
проходчик	3.3 / 3.2	57	32,4	8,7	32
горнорабочий подземный	3.3 / 3.2	64	32	28	2
пылевой бронхит					
ГРОЗ	3.1 / 3.1	59	34	22	10
МГВМ	3.1 / 3.1	56	34	18	10
проходчик	3.1 / 3.1	56	30,25	22,5	22,5

Анализ данных СОУТ показал, что условия труда на рабочих местах МГВМ и ГРОЗа являются наиболее неблагоприятными как в отношении воздействия АПФД, так и в отношении совокупного воздействия вредных факторов. Класс условий труда на рассмотренных рабочих местах составляет 3.3. У подземного электрослесаря и подземного горнорабочего по воздействию АПФД класс условий труда 3.1, а общий – 3.2 (таблица 1.4).

На шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» трудятся 7 632 работника на 3 364 рабочих местах (таблица 1.5). Рабочие места с условиями труда, относящимися как по общему классу, так и по АПФД к оптимальным (класс 1), вредным четвертой степени (класс 3.4) и опасным (класс 4), отсутствуют. На большинстве рабочих мест – 2 761 (83,1 %) зафиксированы вредные условия труда, в том числе количество мест с классом 3.1 по воздействию АПФД составило 1399 (51 %), с классом 3.2 – 589 (21 %), с классом 3.3 – 198 (7 %). Таким образом, количество рабочих мест с запыленностью, превышающей предельно-допустимую концентрацию (ПДК), составляет в среднем по рассмотренным шахтам 79,2 %, достигая в отдельных случаях 89,8 %.

Таблица 1.4 – Данные СОУТ, проведенной на шахте «имени С.М. Кирова»

Должность	Кол-во работников	АПФД	Итоговый класс
Очистной участок №2 (подземный)			
Начальник	1	3,1	3,1
Зам. начальника	1	3,1	3,1
Помощник начальника	1	3,1	3,1
Механик	1	3,1	3,1
Зам. механика	1	3,1	3,1
Горный мастер	1	3,2	3,2
Очистной участок №2 (подземный) / Очистной участок №2 ремонтно-подготовительная смена			
МГВМ	2	3,2	3,3
ГРОЗ	12	3,2	3,3
ЭП	8	3,1	3,2
ГРП	2	3,1	3,2
Очистной участок №2 (подземный) / Очистной участок №2 добычная смена			
МГВМ	2	3,3	3,3
ГРОЗ	8	3,2	3,3
ЭП	1	3,1	3,2
ГРП	1	3,1	3,2
ГРП	1	3,1	3,2
Очистной участок №3 (подземный)			
Начальник	1	3,1	3,1
Зам. начальника	1	3,1	3,1
Помощник начальника	1	3,1	3,1
Механик участка	1	3,1	3,1
Зам. механика	1	3,1	3,1
Помощник механика	1	3,1	3,1
Горный мастер	1	3,2	3,2
Очистной участок №3 (подземный) / Очистной участок №3 ремонтно-подготовительная смена			
МГВМ	2	3,3	3,3
ГРОЗ	9	3,2	3,3
ГРОЗ (гидравлист)	2	3,2	3,3
ЭП	3	3,1	3,2
ГРП	1	3,1	3,2
ГРП (поверхность)	1	-	2
Очистной участок №3 (подземный) / Очистной участок №3 добычная смена (выемка горной массы)			
ГРОЗ	7	3,2	3,3
МГВМ	2	3,3	3,3
ГРП	1	3,1	3,2
ГРП	2	3,1	3,2
ЭП	2	3,1	3,2

Таблица 1.5 – Анализ рабочих мест с вредными условиями труда по АПФД на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» по результатам СОУТ, проведенных в 2015-2018 гг.

Шахта	Общее количество работников / рабочих мест		Количество работников/ рабочих мест по классам условий труда				Количество рабочих мест с вредными условиями труда по АПФД		
			2	3.1	3.2	3.3	3.1	3.2	3.3
имени А.Д. Рубана	Рабочие места	591	223	193	165	116	340	36	20
	Работники	1505	117	357	450	475			
имени В.Д. Ялевского	Рабочие места	526	92	163	138	133	154	127	26
	Работники	1495	189	240	549	517			
Комсомолец	Рабочие места	435	67	200	117	51	162	71	16
	Работники	967	141	273	298	255			
Полысаевская	Рабочие места	402	93	143	116	50	179	65	23
	Работники	571	126	201	162	82			
имени С.М. Кирова	Рабочие места	831	156	282	229	164	329	127	31
	Работники	1797	226	561	577	433			
Талдинская-Западная 1	Рабочие места	354	66	106	93	89	107	153	18
	Работники	827	103	134	281	309			
Талдинская-Западная 2	Рабочие места	225	12	74	52	87	128	10	64
	Работники	470	39	123	127	181			
ИТОГО	Рабочие места	3364	603	1161	910	690	1399	589	198
	Работники	7632	1047	1889	2444	2252			

Основными причинами плохих условий труда являются несовершенство технологических процессов – в 52 % случаев и конструктивные недостатки применяемых средств труда – в 38 % случаев [59]. Многие российские ученые в своих работах [7, 21, 24, 27, 29, 30, 48, 66, 79, 81, 108-112] отмечают, что наиболее неблагоприятные условия труда и высокие профессиональные риски характерны для шахтеров, обращают внимание на необходимость снижения стабильно высоких показателей профзаболеваемости пылевой этиологии среди проходчиков, ГРОЗов, машинистов горных выемочных машин, электрослесарей подземных и других. Основными факторами, создающими неблагоприятную пылевую обстановку, являются изношенность горно-шахтного оборудования и несвоевременное его обслуживание, низкое качество контроля санитарно-гигиенических характеристик рабочих мест, отсутствие средств обеспыливания либо нарушение режимов их работы, приводящее к низкой эффективности пылеподавления, высокая интенсивность ведения горных работ. Проблема снижения профзаболеваний

органов дыхания среди работников актуальна не только для предприятий угольной промышленности в России, но и для других горнодобывающих стран во всем мире. Так в Китае, являющимся лидером по производству угля, в 2014 году было диагностировано 29 972 новых случая профессиональных заболеваний пылевой этиологии, из которых 90 % – пневмокониозы [118]. Суммарные экономические потери для работодателей, связанные с соответствующими компенсационными расходами по потере здоровья работниками и неблагоприятными условиями труда достигают 28 млрд. \$ в год [124, 125, 135, 138]. В Австралии ежегодно добывается более 40 млн. тонн угля и регистрируется не менее 16 случаев заболевания пневмокониозами среди работников угольной промышленности.

В США за период 1970-2004 гг. умерло более чем 69 тыс. человек, имевших значительный стаж работы на угольных шахтах и у которых был диагностирован пневмокониоз [120]. В период с 1996 по 2002 гг. среди обследованных 29 521 шахтера было выявлено 886 случаев заболевания пневмокониозом – «Coal workers' pneumoconiosis (CWP)», большая часть из которых приходилась на работников шахт Восточного Кентукки и Западной Вирджинии. Отмечается увеличение числа легочных заболеваний и среди молодых шахтеров с небольшим рабочем стажем. Только в 2004 г. умерло 703 работника угольных шахт, основной причиной смерти которых был пневмокониоз. Борьба с ростом профзаболеваний, связанных с воздействием на работников угледобывающих предприятий промышленных аэрозолей, актуальна в Америке и сегодня [117].

Как видим, ситуация с условиями труда по пылевому фактору на угольных шахтах на фоне удручающей статистики профзаболеваемости пылевой этиологии остается тяжелой. Это заставляет задуматься об эффективности применяемых средств обеспыливания и возможных способах ее повышения, необходимости разработки дополнительных противопылевых мероприятий и рекомендаций, комплексном пересмотре существующих подходов к оценке и контролю пылевой обстановки на рабочих местах, проведения превентивных процедур по снижению профессиональных рисков, что в условиях наращивания темпов угледобычи и численности работников угольной отрасли является жизненно важным.

1.3 Анализ методик оценки условий труда при воздействии аэрозолей преимущественно фиброгенного действия

Определение потенциального риска возникновения профзаболеваний у работников, включая риск развития пневмокониозов, пылевых бронхитов и иных заболеваний органов дыхания, 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. Руководство» осуществляется на основе результатов СОУТ.

В соответствии с современными требованиями законодательства Российской Федерации определение класса условий труда на постоянных рабочих местах при воздействии АПФД осуществляется путем сравнения фактической среднесменной концентрации (ССК) пыли над предельно-допустимой концентрацией (ПДК_{сс}), величина которой закреплена в ГН 2.2.5.3532-18 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны» [12]. Методической базой для определения концентрации пыли на рабочих местах является МУК 4.1.2468-09.4.1. «Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовых концентраций пыли в воздухе рабочей зоны предприятий горнорудной и нерудной промышленности. Методические указания» [56]. Согласно СанПиН [89, 90] допускается рассчитывать ССК на основе фактических разовых замеров максимальных концентраций пыли на отдельных стадиях рабочей смены с учетом продолжительности каждого этапа.

Определение класса условий труда при воздействии АПФД на непостоянных рабочих местах производится по кратности превышения расчетной пылевой нагрузки за год (ПН_{1год}) над контрольной пылевой нагрузкой (КПН_{1год}). Пылевая нагрузка отражает величину всей массы пыли, которая прошла через легкие человека при ее вдыхании в процессе работы в течение рассматриваемого периода времени, и определяется по следующей формуле:

$$ПН_{1год} = K_{cc} \cdot N \cdot Q, \text{ мг} \quad (1.1)$$

где K_{cc} – фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника, мг/м³; N – число рабочих смен, отработанных в календарном году в условиях воздействия АПФД; Q – объем воздуха, проходящего через легкие работника в течение смены, м³, который зависит от категории тяжести работ [90].

Расчет контрольной пылевой нагрузки производится аналогичным образом, только вместо фактической среднесменной концентрации пыли в приведенную формулу подставляется предельно-допустимая концентрация ($ПДК_{cc}$):

$$КПН_{1год} = ПДК_{cc} \cdot N \cdot Q, \text{ мг} \quad (1.2)$$

Классификация условий труда по кратности превышения контрольных пылевых нагрузок в соответствии с методикой проведения СОУТ [68] приведена в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Определение класса условий труда при воздействии АПФД [68]

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

В случае превышении контрольных пылевых нагрузок рекомендуется использовать принцип «защиты временем», в основе которого лежит расчет допустимого стажа работы (T_1) в конкретных условиях при использовании КПН за 25-летний рабочий стаж [87]:

$$T_1 = \frac{КПН_{25}}{K_{cc} \cdot N \cdot Q}, \text{ лет}, \quad (1.3)$$

Несовершенство применяемого подхода к оценке условий труда в условиях воздействия пылевого фактора отмечается во многих научных работах [3, 21, 47, 63, 76, 109-112]. Так, например, в работе [47] говорится о том, что при расчете пылевых нагрузок на работников разрезов, следует учитывать колебания запыленности, фракционного состава витающей пыли и объема легочной вентиляции в летний и зимний период времени. Отмечается, что при снижении температуры воздуха с 25 до -22,4 °С происходит рост энергозатрат на выполнение работ одной и той же категории тяжести и увеличение объема легочной вентиляции в 1,6 раза, и предлагается скорректированная формула расчета пылевой нагрузки (ПН):

$$ПН = (C_{с.с.} \cdot V_{дых}^л + C_{с.с.} \cdot V_{дых}^з \cdot K_{сп}) \cdot N \cdot T, \text{ мг} \quad (1.4)$$

где $C_{с.с.}$ – фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника, мг/м³; $V_{дых}^л$ и $V_{дых}^з$ – объем легочной вентиляции для летнего и зимнего времени года, м³; $K_{сп}$ – коэффициент, учитывающий увеличение доли мелкодисперсной пыли в атмосфере, $K_{сп}=1,03-1,32$ в зависимости от месяца года.

Принципы нормирования и оценки пылевой обстановки на рабочих местах в России и зарубежом заметно отличаются. Если у нас фиксируется максимально разовая концентрация (МРК) и среднесменная концентрация (ССК) всей ингалируемой пыли, то во всех других странах, за исключением стран СНГ, акцент делается на нормировании и измерении преимущественно среднесменной концентрации пыли респираторной фракции (крупностью от 0,1 до 10 мкм), обозначаемой, как TWA. В настоящее время и на отечественных предприятиях допускается определять содержание мелких и тонких фракций в воздухе рабочей зоны, но при условии соответствия пробоотборных устройств нормативам ГОСТ Р ИСО 7708-2006 «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле» [17]. Стоит отметить, что эти требования к виду кривой фракционного распределения частиц отличаются от нормативов, принятых зарубежом [89].

Для взаимного пересчета МРК и ТWA пыли респирабельной фракции Дрёмовым В.И. предлагается использовать формулу:

$$TWA_{\text{прив. р.п.}} = \frac{MPK \cdot K_n \cdot K_{m.ф.} \cdot K_{p.ф.}}{3}, \text{ мг/м}^3 \quad (1.5)$$

где MPK – максимально-разовая концентрация пыли, мг/м^3 ; K_n – коэффициент пробоотбора, $K_n = 0,85$; $K_{m.ф.}$ – коэффициент доли тонкой фракции, $K_{m.ф.} = 0,6$ при MPK от 10 до 50 мг/м^3 ; $K_{m.ф.} = 0,4$ при MPK от 50 до 100 мг/м^3 ; $K_{m.ф.} = 0,2$ при MPK от 100 до 1000 мг/м^3 ; $K_{p.ф.}$ – коэффициент фракционного разделения, $K_{p.ф.} = 0,9$ [21].

Одним из актуальных, но пока слабо развиваемых на угольных шахтах направлений по защите персонала от вредного воздействия промышленных аэрозолей, является проведение профилактических мероприятий на основе оценки профессионального риска. Используя результаты многочисленных наблюдений и исследований, проведенных специалистами НИИ медицины труда РАМН, В.В. Ткачевым был предложен интегральный показатель риска заболевания пылевой этиологии:

$$R = 8,6 \cdot X_1 + 6,0 \cdot X_2 + 19,4 \cdot X_3 K_1 + 6,4 \cdot X_4 K_2 K_3 \quad (1.6)$$

где X_1 – возраст работника, лет; X_2 – общий стаж работы, лет; X_3 – стаж работы при непосредственном контакте с АПФД, лет; X_4 – концентрация пыли в воздухе рабочей зоны (пылевая экспозиционная доза, ПЭД), мг/м^3 ; K_1 – коэффициент, учитывающий содержание свободного диоксида кремния, K_1 составляет от 0,6 до 1,2; K_2 – коэффициент, учитывающий дисперсный состав частиц вдыхаемой пыли, ее минеральный состав и концентрацию в воздухе рабочей зоны, K_2 составляет от 0,8 до 2,3; K_3 – коэффициент, учитывающий тяжесть труда и объем легочной вентиляции, K_3 составляет от 1,1 до 1,8.

При значении интегрального показателя $R=1000-1150$ риск развития заболевания органов дыхания ничтожно мал и не превышает 2 %. При $R=1201-1150$ профессиональный риск составляет 10 % и возрастает на 10 % при каждом

увеличении R на 50 единиц. Чрезвычайно высоким (более 90 %) считается риск при $R=1601-1700$. При 20 %-ном риске заболевания пылевой этиологии рекомендуется перевод работника на рабочее место с допустимым классом условий труда по пылевому фактору [89].

Главной причиной возникновения пневмокониозов и пылевых бронхитов является наличие в большом количестве пыли в соответствующих органах, приводящее к повреждению и воспалениям тканей, нарушению кислородно-обменных процессов и сбою в деятельности сердечно-сосудистой и дыхательной систем организма. Скорость развития заболеваний зависит от общей массы осевших пылевидных частиц и времени их накопления. Это в свою очередь зависит не только от концентрации витающей пыли в воздухе и времени ее контакта с органами дыхания человека, но также от ее крупности и плотности. В результате длительных наблюдений и исследований установлено, что пневмокониозы возникают из-за аккумуляции в альвеолярной ткани легких пыли респираторной фракции с преобладанием частиц с размером до 2,5 мкм. При этом на скорость накопления пыли в легких крайне негативно влияет резкое увеличение запыленности, когда фактическая концентрация пыли превышает среднесменную концентрацию в 5 и более раз. Основную роль в развитии профессионального пылевого бронхита играют частицы торакальной фракции с размером 10-35 мкм, которые оседают непосредственно в бронхах.

Если говорить о подходах к оценке пылевого воздействия на качество воздушной среды городов, то практически во всем мире наряду с определением максимально-разовых, среднесуточных и среднегодовых концентраций пыли измеряют и нормируют концентрацию тонкодисперсных частиц респираторной фракции. При этом оценивают содержание взвешенных частиц как с аэродинамическим диаметром менее 10 мкм (PM_{10}), так и менее 2,5 мкм ($PM_{2.5}$). Обозначение «PM» является сокращением от английского словосочетания «Particulate matter», которое переводится как «взвешенные твердые частицы». Почему же все чаще исследователи многих стран говорят о важности оценки именно тонкодисперсной пыли и борьбы с ней? Ответ прост – именно эти

частицы дольше всего витают в воздухе, контактируя с органами дыхания людей, представляя значительную угрозу, не только для их здоровья, но и жизни. Они не только проникают глубоко в альвеолы легких, разрушая клетки легочного эпителия и вызывая отклонения в дыхательной системе человека, но и попадают в кровь, на что организм реагирует выработкой антител, повышающих свертываемость крови и вызывающих утолщение стенок сосудов, что, в конечном итоге, отражается в нарушении работы сердечно-сосудистой системы и развитии аритмии. Также систематическое вдыхание тонкодисперсных фракций пыли различного состава может стать причиной рака легких. Как установило Международное агентство по изучению рака (IARC), порядка 223 тысяч заболеваний раком легких, выявленных в 2010 г., были обусловлены длительным нахождением людей в контакте с атмосферой, загрязненной мелкодисперсной пылью. В Калифорнии по той же причине ежегодно фиксируется до 10 тысяч смертей. Опираясь на данные отчетов Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 8 % случаев заболеваний сердечнососудистой и дыхательной систем, оканчивающихся смертельным исходом, основной причиной является систематическое вдыхание и накапливание в организме людей тонкодисперсной пыли с размером менее 2,5 мкм ($PM_{2,5}$). С увеличением концентрации респирабельной пыли размером менее 10 мкм (PM_{10}) в воздухе на каждые $0,01 \text{ мг/м}^3$ отмечается прирост смертности на 0,2-0,6 % в сутки [116, 133]. При повышении в атмосфере концентрации более тонкой пыли (фракции $PM_{2,5}$) на такую же величину при постоянном воздействии на органы дыхания, вероятность смерти от заболеваний сердечно-сосудистой системы возрастает на 6-13 % [130].

Основными нормативными документами, регламентирующими содержание в воздухе взвешенной пыли тонкодисперсных фракций PM_{10} и $PM_{2,5}$, являются:

– EN 12341:2014 «Ambient air - Standard gravimetric measurement method for the determination of the PM_{10} or $PM_{2,5}$ mass concentration of suspended particulate matter»;

– Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 «On Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe»;

- ГН 2.1.6.3492-17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений»;
- РД 52.04.830-2015 «Массовая концентрация взвешенных частиц РМ 10 и РМ 2.5 в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом».

ВОЗ рекомендует при оценке качества воздушной среды в городах и населенных пунктах контролировать, чтобы среднегодовая концентрация частиц фракции РМ₁₀ не превышала 20 мкг/м³, частиц РМ_{2,5} – 10 мкг/м³.

В России ПДК взвешенных веществ размером менее 10 мкм и 2,5 мкм в атмосферном воздухе несколько выше по сравнению со значениями, рекомендуемыми ВОЗ, и значениями, закрепленными в директиве Евросоюза (таблица 1.7) [75].

Таблица 1.7 – Сравнение нормативов концентраций частиц РМ_{2,5} и РМ₁₀, витающих в атмосферном воздухе [75, 121]

Страна	ПДК частиц РМ _{2,5} , мг/м ³		ПДК частиц РМ ₁₀ , мг/м ³	
	среднесуточная	среднегодовая	среднесуточная	среднегодовая
ВОЗ	0,025	0,01	0,05	0,02
ЕС	-	0,02	0,05	0,04
РФ	0,035	0,025	0,06	0,04

Из всего вышесказанного, следует, что для снижения профзаболеваемости пылевой этиологии и объективной оценки эффективности противопылевых мероприятий необходимо пересмотреть существующий в России подход к оценке пылевой обстановки, опираясь на общемировые тенденции и научно-обоснованные предложения ученых. Особое внимание при оценке условий труда по пылевому фактору следует уделить учету фактического содержания наиболее опасных для человека частиц тонкодисперсных фракций в воздухе на рабочих местах, т.к. при одной и той же запыленности концентрации этих частиц могут заметно отличаться друг от друга, что не может не отразиться на величине профессионального риска. За рубежом все большее количество ученых занимаются исследованием особенностей дисперсного состава пылевого аэрозоля

на угольных шахтах [127, 136, 137]. По причине того, что угольные шахты в России значительно отличаются друг от друга горно-геологическими и горнотехническими условиями, качеством и видом добываемых углей, а также маркой оборудования, используемого для выполнения одних и тех же технологических операций, считаем необходимым проведение систематического мониторинга дисперсного состава витающей пыли на рабочих местах с целью оценки условий труда по пылевому фактору, а также комплексной оценки эффективности применяемых средств обеспыливания.

Необходимость совершенствования подходов к обоснованию гигиенических требований и профилактических мероприятий в горнодобывающей отрасли отмечается в работах многих ученых [3, 21, 47, 63, 76, 109-112]. Вследствие модернизации производств и наращивания темпов угледобычи происходит изменение выраженности вредных факторов рабочей среды и трудового процесса в нелучшую сторону. Внося весомый вклад в национальную экономику, угледобывающее производство на шахтах с учетом перспектив его развития требует в настоящее время более пристального внимания к вопросам обеспечения безопасности, в которых проблема пылевого фактора остается одной из главных.

1.4 Основные способы борьбы с пылью при ведении горных работ

С целью предотвращения профессиональных рисков, связанных с развитием заболеваний пылевой этиологии у работников на горнодобывающих предприятиях предусмотрены мероприятия, которые можно разделить на 3 группы:

1. Технологические и организационные.
2. Инженерно-технические.
3. Лечебно-профилактические.

Мероприятия первой группы направлены на совершенствование технологий производства, применяемых оборудования и техники, систем пылеподавления и пылеулавливания. Также они предусматривают проведение пылевого контроля, ограничение времени нахождения работников в условиях повышенной

запыленности, своевременное обслуживание и ремонт основного оборудования и средств комплексного обеспыливания.

Ко второй группе относятся мероприятия, заключающиеся [105]:

- в снижении концентрации пылевых частиц за счет подачи чистого воздуха и пылевыноса из рабочей зоны;
- в применении технических средств аспирации с фильтрами для последующей пылеочистки;
- в подаче воды в распыленном виде в места пылеобразования для пылеподавления;
- в снижении пылеобразования за счет предварительного увлажнения пылящей массы;
- в обеспечении работников средствами индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД).

Мероприятия третьей группы направлены на самих работников и включают проведение периодических медосмотров, увеличенную продолжительность отпуска, систематическое лечение в санаториях, выполнение общеукрепляющих процедур (дыхательной гимнастики, ингаляции), более ранний выход на пенсию.

Из приведенных мероприятий наиболее предпочтительны те, которые позволят избежать пылеобразования совсем или не дать распространиться пыли за пределы оборудования. К сожалению, при ведении горных работ для большинства технологических операций это сделать невозможно. Больше всего пыли образуется в момент разрушения полезного ископаемого или породы и отделения их от массива, их перегрузке, бурении скважин и шпуров, проведении взрывных работ.

Согласно данным исследований «ИГД им. Скочинского» и АО «НЦ ВостНИИ», концентрация пыли на рабочем месте машиниста горных выемочных машин в очистных забоях угольных шахт Кузбасса приближается к 406 мг/м^3 [27, 28]. Запыленность на американских шахтах составляет $8,5\text{-}57 \text{ мг/м}^3$ [120].

Все мероприятия по борьбе с пылью на угольных шахтах, предписанные соответствующей Инструкцией [105], сгруппированы по видам производственных процессов и местам пылеобразования.

Большинство способов и мероприятий по борьбе с пылью основаны на применении воды [104, 105]. Для снижения пылеобразования при отработке мощных угольных пластов и пластов средней мощности в случае, когда концентрация пыли на исходящей струе из очистного или подготовительного забоя после обеспыливающей завесы превышает 150 мг/м^3 , проводится их предварительное увлажнение. Для закачки воды в пласт бурят скважины, диаметр которых варьируется от 45 до 100 мм. При нагнетании жидкости в пласт в очистном забое длина скважин ($l_{скв}$), планируемых к бурению из вентиляционных и откаточных штреков определяется по формуле:

$$l_{скв} = \frac{l_l}{2} - l_2, \text{ м} \quad (1.7)$$

где l_l – длина лавы, м; l_2 – глубина герметизации, $l_2 = 5-15$ м.

Скважины бурят друг от друга на расстоянии (L_c), равном:

$$L_c = 2l_2, \text{ м} \quad (1.8)$$

Количество необходимой для увлажнения пласта жидкости (Q) рассчитывается исходя из формулы:

$$Q = 1,1 \cdot (l_{скв} - l_2) \cdot L_c \cdot m \cdot q \cdot \gamma / 1000, \text{ м}^3 \quad (1.9)$$

где $l_{скв}$ – глубина скважин, м; l_2 – глубина герметизации скважин, м; L_c – расстояние между скважинами, м; m – мощность пласта, м; q – удельный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{т}$; γ – плотность угля, $\text{т}/\text{м}^3$.

При планировании мероприятий по увлажнению угольного пласта в подготовительном забое длина скважин, по которым нагнетается жидкость, принимается кратной, суточному или недельному подвиганию забоя. Глубина, на которую герметизируют скважины, принимается равной от 3 до 5 м.

Увлажнение угольных пластов не производится при высокой влажности угля, превышающей 12 %, низкой его пористости – менее 5 %, невысокой влагоемкости – менее 2 %; наличии в пласте крепких породных прослоев [105].

Эффективность предварительного увлажнения зависит от прироста влаги в массиве, который определяется физико-механическими и фильтрационно-коллекторскими свойствами пласта, а также параметрами подачи жидкости в скважины (скоростью, давлением и временем нагнетания). Эффективность увлажнения (η) рассчитывается по формуле:

$$\eta = \mu \cdot \frac{q_{ж}}{n_{э}} \cdot 100, \% \quad (1.10)$$

где μ – коэффициент пропорциональности; $q_{ж}$ – удельный расход жидкости, м³/т; $n_{э}$ – эффективная пористость, %.

Эффективность увлажнения пластов достигает 50-80 %. Максимальные ее значения (75-80 %) зафиксированы при увлажнении углей Печорского бассейна, минимальные (50-55 %) – при увлажнении некоторых видов углей Карагандинского и Донецкого бассейнов. Наиболее интенсивное снижение пылеобразования отмечается при приросте влажности в массиве от 1 до 3 % и при наибольшем коэффициенте водопроницаемости, характерном для углей с выходом летучих веществ – от 15 до 35 % [66].

В очистных забоях основными способами снижения запыленности являются взрывозащитное орошение под резами на исполнительном органе комбайна, орошение через форсунки на корпусе комбайна, секционное орошение в сторону забоя, секционное орошение «на завал». В штреке с исходящей воздушной струей на расстоянии не более 20 м от сопряжения с лавой устанавливаются обеспыливающие завесы, которые могут быть водяными, водовоздушными, лабиринтно-тканевыми или туманообразующими (рисунок 1.14). Давление жидкости в трубопроводе у водяной обеспыливающей завесы не менее 0,5 МПа, туманообразующей завесы – 1 МПа и более. При отработке крутых пластов в зону разрушения угля может подаваться пена, кратность которой определяется видом проветривания (восходящим или нисходящим) и варьируется от 100-150 до 200-250 единиц соответственно. При струговой выемке угля на секционном орошении вместо воды может также использоваться пена, но меньшей кратности, составляющей 80-150 единиц.



Рисунок 1.14 – Способы борьбы с пылью на выемочном участке [46]

1 – область орошения при работе шнека; 2 – орошение «под резец», 3 – орошение через форсунки на редукторах; 4 – орошение через форсунки на корпусе комбайна; 5 – секционное орошение в сторону забоя и на завал; 6 – орошение и ожухование при перегрузке и дроблении угля; 7 – обеспыливающая завеса

Конкретные значения параметров систем орошения устанавливаются на основании экспертного заключения специализированных институтов после определения в установленном порядке ТДУ запыленности воздуха для каждого забоя и степени фрикционной опасности горных пород. Если, например, горные породы неопасны, то допускается минимальное давление жидкости в системе взрывозащитного орошения, равное 1 МПа при расходе жидкости на один резец не менее 1 л/мин. Если пласт искроопасен, то должны быть обеспечены давление жидкости в системе орошения на уровне не менее 1,5 МПа и расход – от 1,5 до 2 л/мин. на один резец. В случае взрывоопасности угольного пласта или пород данные показатели должны быть соответственно не менее 2 МПа и 2,5 л/мин. На современных очистных комбайнах фирм «JOY» или «Eickhoff» установлены форсунки различных диаметров, обеспечивающие подачу жидкости под резец от 0,94 до 4,13 л/мин. Суммарный расход воды зависит от конкретной модели комбайна и, например, для очистного комбайна «JOY 7LS» составляет от 313,3 до 520,0 л/мин. Применение средств гидрообеспыливания является достаточно эффективным, но не позволяет снизить запыленность до уровня ПДК. Так, на шахтах Кузбасса технически достижимые уровни запыленности на рабочих местах находятся в пределах 75-180 мг/м³. Для снижения пылевыделения через зазоры секций механизированной крепи устанавливаются уплотнители [46, 79, 81].

Рассматривая зарубежный опыт борьбы с пылью в очистных забоях, хотелось бы отметить, что на угольных шахтах США известны случаи применения пассивных барьеров (разделяющих консолей) с двумя рядами форсунок, расположенных в нижней и верхней части консоли по направлению воздушного потока (рисунок 1.15) [120, 122].

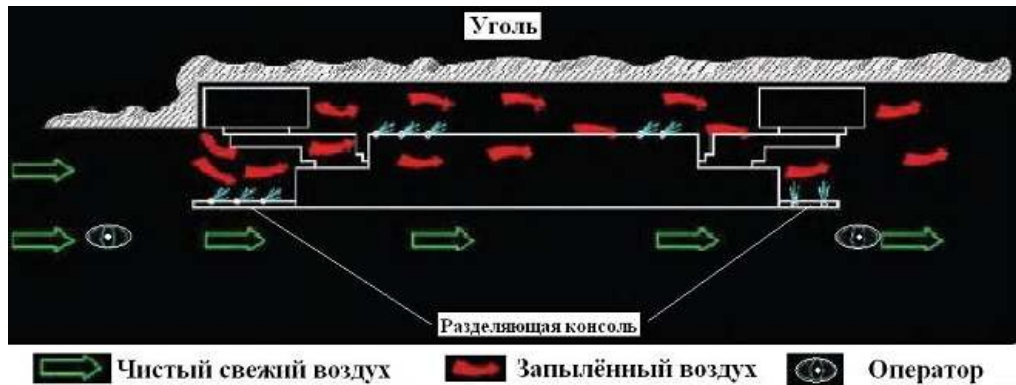


Рисунок 1.15 – Схема расположения и принципа действия разделяющих консолей [120]

За счет установки консолей происходит разделение вентиляционного потока на два: один – чистый, поступающий на рабочие места машиниста комбайна и машиниста крепи, второй – загрязненный, очищаемый от взвешенной пыли за счет ее осаждения дополнительно установленными форсунками.

Также на некоторых очистных комбайнах установлены пластины дефлектора с гидравлической регулировкой, позволяющие не только защитить машиниста комбайна от падающих крупных кусков угля, отделяемых от массива, но и ограничить распространение пылевого облака. Для снижения концентрации пыли на рабочих местах машиниста комбайна и машиниста крепи служат и дополнительно устанавливаемые на комбайне струйные вентиляторы, способствующие более быстрому выносу пыли из рабочей зоны.

Обеспечение оптимальной скорости воздушного потока является еще одним инструментом, позволяющим улучшить вынос пыли из «застойных» зон при минимальном пылеобразовании и перемешивании, тем самым снижая концентрацию пыли в рабочей зоне. Для очистных забоев оптимальной считается скорость воздуха от 1 до 3 м/с.

На угольных шахтах Австралии, которых насчитывается порядка 29 штук, а также на шахтах Южной Африки с целью повышения эффективности снижения запыленности в очистных забоях большое внимание уделяется применению усовершенствованных туманообразующих систем Вентури (рисунок 1.16), параметры и направление установки которых подбираются на основе анализа результатов моделирования пылединамических процессов.



Рисунок 1.16 – Туманообразующие системы Вентури [131]

а) внешний вид системы в сборе; б) крепление на секции механизированной крепи

Из анализа опыта австралийских угледобывающих компаний следует, что с ростом нагрузок на очистной забой и увеличением мощности обрабатываемых пластов эффективность мероприятий по обеспыливанию сильно снижается. Значительных успехов в вопросе борьбы с пылью в очистных забоях удалось добиться за счет установки на комбайн возле шнека специального скруббера, имеющего дополнительно фильтры для очистки всасываемого воздуха и форсунки для подачи тонкораспыленной воды (рисунок 1.17).



Рисунок 1.17 – Скруббер на комбайне в очистном забое на одной из угольных шахт Австралии [131-132]

Из результатов проведенных шахтных испытаний разработанных скрубберов следует, что при их использовании запыленность на рабочем месте машиниста комбайна снижалась на 76 % [131-132].

Для корректного выбора противопылевых мероприятий и оценки эффективности разрабатываемых средств обеспыливания производят оценку дисперсного состава аэрозоля и оценивают его динамику с использованием современных программных комплексов.

Исходя из практики борьбы с пылеобразованием на зарубежных шахтах стоит отметить, что одним из основных решений, позволяющих снизить интенсивность пылепоступления в атмосферу горных выработок, является применение на шнеке комбайна зубьев специальных конструкций, изготовленных из высококачественного металла. Также принципиально важна их своевременная замена при сильном истирании и дефектах [129].

Основными способами пылеподавления на угольных шахтах Индии являются применение мелкодиспергированной воды, тумана и аспирации. На шахтах Китая широко применяется большинство из перечисленных выше способов борьбы с пылью.

В подготовительных забоях для снижения запыленности помимо средств орошения на комбайне, дополнительно установленных после него кольцевых оросителей, а также обеспыливающих завес, монтируемых на расстоянии не далее 30 м от забоя, применяются встроенные или вынесенные (автономные) аспирационные пылеулавливающие установки. Анализ опыта использования систем встроенного пылеотсоса на российских и зарубежных шахтах, показал, что уровень запыленности на рабочих местах снижается в 7–12 раз. Эффективность пылеудаления при использовании системы вынесенного пылеотсоса «мокрого» типа достигает 80 % [79, 81].

Эффективность мероприятий гидрообеспыливания зависит не только от параметров орошения (давления и расхода воды, типа форсунок, дисперсности капель, формы факела), но и скорости смачивания взвешенных частиц угля, которая влияет на быстроту их осаждения. Смачиваемость угля зависит от

особенностей его химического и петрографического состава и тем ниже, чем выше степень метаморфизма. В частности, антрациты являются практически несмачиваемыми. На практике, для повышения смачиваемости угля в процессе орошения или обмывки горных выработок нормативными документами регламентировано применение растворов шахтных смачивателей, представляющих собой смесь поверхностно-активных веществ (ПАВ) различных типов. Концентрация рабочего раствора смачивателя не превышает, как правило, 0,05 %. Повышение скорости взаимодействия между каплей жидкости и поверхностью частицы угля достигается за счет снижения величины поверхностного натяжения на границе раздела фаз «жидкое-твердое», которая зависит от концентрации и типа ПАВ.

В результате проведенных патентных исследований было выявлено огромное количество пылесмачивающих и пылесвязывающих составов. В частности, известны:

- смачиватель для подавления угольной пыли, основными компонентами которого являются олеиновая кислота, гидроксид натрия и льняное масло [34];
- смачиватель для подавления угольной пыли на основе алкилбензосульфокислоты, гидроксида натрия, неанола, этилового спирта, карбамида, хлорида кальция и бишофита с добавлением отдушки [10];
- пылеподаватель для обработки мелкозернистых материалов, в состав которого входят формальдиоксанный спирт, карбоксиметилцеллюлоза и смачиватель «ОП-10» [25];
- состав для закрепления пылящих поверхностей, представляющий собой водный раствор полиакрилата натрия и сополимера акриламида с производными акриловой кислоты [54];
- пылесвязывающий состав на основе водной дисперсии фторсодержащего полимера [36];
- состав для пылеподавления, включающий аминокетон и воду [5];
- состав для подавления угольной пыли, включающий поверхностно-активное вещество, электролит (сульфит натрия или тиосульфат натрия) и воду [26];

– состав для борьбы с пылью, представляющий собой водный раствор поливинилового спирта, латекс на акриловой основе, глицерин, поверхностно-активное вещество на основе силикона и смачивающий агент на основе полисилоксана [126].

Этот список еще долго можно продолжать, но стоит отметить, что в настоящее время широкое применение в практике борьбы с пылью на угольных шахтах нашли лишь несколько марок смачивателей: «Неолас», «СМУГ», и «Эльффор-М». «Неолас» изготовлен на основе неионогенных ПАВ, без цвета, имеет слабовыраженный запах. Концентрация рабочего раствора от 0,05 до 0,2 %. Смачиватель «СМУГ» представляет собой жидкость от серого до светло-коричневого цвета с содержанием основного вещества не менее 30 %. Водный 1%-ный раствор характеризуется $pH=9-12$. Рабочая концентрация смачивателя для орошения в зависимости от марки угля составляет 0,05-0,25 %. Смачиватель «Эльффор-М» представляет собой однородную жидкость с оттенком применяемых компонентов, с легким запахом либо без него, включает анионные и неионные ПАВ. Водный 1%-ный раствор имеет pH от 7,5 до 9. Концентрация рабочего раствора согласно руководству составляет от 0,02 до 0,03 %. Наиболее эффективным смачивателем из рассмотренных считается «Эльффор-М», который и используется на большинстве российских угольных шахт.

Все известные в настоящий момент составы смачивателей для подавления угольной пыли имеют те или иные недостатки: недостаточно высокую смачивающую способность, многокомпонентность состава, сложность его изготовления, низкую биоразлагаемость, использование в составе дорогостоящих, в некоторых случаях редких веществ, оказывающих раздражающее воздействие на организм человека.

В решение вопроса улучшения пылевой обстановки и мониторинга на угольных шахтах внесли значительный вклад российские и зарубежные учёные.

Из исследований МакНИИ, ВостНИИ и ИГД им. А.А. Скочинского следует, что наиболее эффективным способом по борьбе с витающей пылью в очистных забоях угольных шахт является предварительное увлажнение пласта и орошение

(пневмогидроорошение), в проходческих забоях – орошение и аспирационное пылеудаление.

В работах И.Г. Ищука, Б.Ф. Кирина, Г.А. Позднякова [29, 31, 66] рассматриваются вопросы повышения эффективности гидрообеспыливания, включая влияние на нее параметров орошения, связанных в том числе с конструктивными особенностями форсунок. Проанализированы различные способы обеспыливания, и даны рекомендации по их применению для обеспечения максимальной эффективности.

М.М. Сметанин, И.П. Озерной, Ю.В. Шувалов рассматривали механизмы взаимодействия витающей пыли с распыляемыми капельками воды. Ими были разработаны различные способы и технические решения снижения запыленности, основанные на применении тонкораспыляемой воды, пен, пара и искусственного снега [96, 113].

В работах О.В. Скопинцевой, А.Ю. Прокоповича, Д.И. Савельева [92-95] детально рассмотрены факторы, влияющие на эффективность предварительного увлажнения массива на угольных шахтах и снижение пылеобразования.

Научные исследования С.Н. Подображина посвящены вопросам оценки пылеобразующей способности пластов угля различных марок, влиянию марки угля и типа смачивателя на смачиваемость углепородной пыли [63-65].

В научных статьях С.И. Голоскова [13, 14] основное внимание сконцентрировано на оценке смачиваемости углепородной пыли и смачивающей способности растворов поверхностно-активных веществ, а также разработке методики оценки указанных свойств. Часть работ [15] посвящена разработке метода прогноза пылевой обстановки на основе моделирования процесса разрушения углей.

Научная деятельность В.В. Кудряшова [49, 51] посвящена решению проблем пылевого мониторинга на угольных шахтах, включая, в том числе, разработку и применение технических средств контроля запыленности и пылеотложения, отличающихся высокой точностью измерений.

В своих работах [32-34, 80] С.С. Кубрин, А.С. Кобылкин исследуют пылединамические процессы в горных выработках с точки зрения влияния их на интенсивность пылеотложения и состояние пылевзрывобезопасности горных выработок.

Большинство научных работ [80, 100, 101] А.А. Трубицына посвящено повышению качества пылевого контроля и пылевзрывобезопасности горных выработок, разработке различных подходов к улучшению пылевой обстановки на угольных шахтах.

С.Б. Романченко, К.А. Лебецки изучали факторы, влияющие на взрывчатые свойства углеродной пыли в горных выработках шахт, запыленность, интенсивность и закономерности пылеотложения. Также выявлены факторы и установлено их влияние на погрешность измерений запыленности применяемыми стационарными и переносными пылемерами. Особое внимание уделено вопросам борьбы с пылью при проходке горных выработок, в том числе посредством применения аспирационных систем встроенного и вынесенного пылеотсоса с мокрыми и сухими пылеуловителями, оценке дисперсного состава отложившейся пыли [78-84].

С.М. Баранов занимался вопросами совершенствования подхода к оценке пылевого фактора на угольных шахтах с целью снижения профзаболеваемости горнорабочих, исследовал дисперсный состав пылевого аэрозоля в очистных забоях и прилегающих к ним выработках [3, 4].

В.И. Дрёмов рассматривал вопросы пылевыделения, управления средствами пылеподавления и пылевого контроля преимущественно в проходческих забоях, разработал предложения для снижения рисков заболевания шахтеров пневмокониозом [21]. В.В. Соболев занимался исследованием закономерностей пылеобразования при добыче угля и разработкой технических средств оперативного контроля пылевзрывобезопасности горных выработок [97].

В работах зарубежных ученых [120, 122, 129] представлены различные способы снижения запыленности, применяемые на угольных шахтах США, которые были уже ранее рассмотрены.

Учеными G. Cooper, T.X. Ren и B. Plush в работах [131-132] предложены технические решения для нормализации пылевой обстановки в очистных забоях, показавшие высокую эффективность при испытаниях на угольных шахтах Южной Африки и Австралии.

Китайские ученые X. Chen, Y. Zhang, H. Hu, Y. Xu, Y. Zhang, G. Yang в качестве одного из основных решений по повышению эффективности пылеподавления рассматривают применение пен и смачивателей различного состава. Весьма важным направлением в исследованиях является определение оптимальной концентрации смачивателя и его состава с точки зрения взаимодействия с угольной пылью, отличающейся физико-химическими свойствами [124].

В научных статьях [135-137] Qingguo Wang, Deming Wang, Hetang Wang, Chaohang Xu рассматриваются различные поверхностно-активные вещества, их пенообразующие и смачивающие свойства с точки зрения их применения для повышения скорости смачивания угольной пыли и ее осаждения.

Проведенный патентный поиск и исследование технического уровня и тенденций развития в области борьбы с пылью на угледобывающих предприятиях позволили оценить достоинства и недостатки применяемых способов и средств. Несмотря на все многообразие разработанных методов и оборудования комплексного обеспыливания, высокий уровень профзаболеваемости пылевой этиологии свидетельствует о недостаточной эффективности проводимых противопылевых мероприятий и требует проведения дополнительных исследований пылевой динамики на угольных шахтах с последующей разработкой технических решений и рекомендаций по ее снижению.

1.5 Выводы по первой главе

1. Несмотря на нестабильность спроса и цен на международном рынке, уголь остается важнейшим энергетическим ресурсом и стратегическим сырьем. Перспективы развития угольной отрасли России, которая является одной из доминант в экономике страны, обеспечивая занятость почти 160 тысяч человек и внося вклад в ВВП не менее 1 %, не вызывают сомнения.

2. Достижение целевых показателей по добыче угля, составляющих 550-670 млн. т к 2035 г., невозможно без приложения должных усилий по обеспечению безопасных условий труда.

3. В угольной отрасли отмечается наибольшее количество работников, задействованных как на работах с вредными условиями труда в целом (79,1 %), так и находящихся под вредным воздействием аэрозолей преимущественно фиброгенного действия (37,4 %).

4. В структуре профессиональной патологии заболевания, связанные с воздействием промышленных аэрозолей, с долей 15,89 % относятся к числу наиболее распространенных.

5. На угольных шахтах профессиональные заболевания органов дыхания занимают третье-четвертое место после заболеваний от физических перегрузок, нейросенсорной тугоухости и вибрационной болезни.

6. Наиболее неблагоприятные условия труда по пылевому фактору, способствующие преждевременной утрате профессиональной трудоспособности, отмечаются у машинистов горных выемочных машин, ГРОЗов, проходчиков, подземных электрослесарей и подземных горнорабочих.

7. Основными факторами, ухудшающими пылевую обстановку на угольных шахтах, являются увеличение нагрузок на забой и интенсивности ведения работ, несвоевременность обслуживания и ремонта горно-шахтного оборудования, нарушение режимов работы и неисправность применяемых средств обеспыливания.

8. Для снижения профзаболеваемости пылевой этиологии и объективной оценки эффективности противопылевых мероприятий необходимо пересмотреть

существующий в России подход к оценке условий труда по пылевому фактору, уделяя особое внимание оценке и учету фактического содержания в рудничной атмосфере наиболее опасных для человека тонкодисперсных фракций пыли.

9. Улучшить условия труда по пылевому фактору возможно только за счет совместного пылеудаления, пылеподавления и снижения пылеобразования, применяя передовые средства обеспыливания, включая различные системы орошения и аспирации, разделяющие консоли с водяными форсунками, туманообразующие системы Вентури, скрубберы, устанавливаемые на очистных комбайнах. Не менее важен и своевременный контроль и ремонт оборудования для ведения горных работ и комплексного обеспыливания.

10. Для прогноза пылевой обстановки в очистных и подготовительных забоях, объективной оценки эффективности применяемых способов борьбы с пылью следует рассмотреть вопросы влияния на степень пылеобразования и ее снижения различных горнотехнических и горногеологических факторов в условиях высокоинтенсивной угледобычи.

11. В качестве одного из приоритетных направлений по повышению эффективности пылеподавления на угольных шахтах следует рассмотреть разработку пылесмачивающего состава, применение которого позволило бы сократить время смачивания взвешенной углеродной пыли по сравнению с применяемыми аналогами. При этом весьма важно, чтобы новый смачиватель был пожаро- и взрывобезопасен, экологичен, безвреден для работников.

ГЛАВА 2 ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИКИ ЗАПЫЛЕННОСТИ И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛЕВОГО АЭРОЗОЛЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ АО «СУЭК-КУЗБАСС»

Эффективность мероприятий по борьбе с пылью в условиях ограниченного пространства горных выработок на угольных шахтах определяется фактической концентрацией витающей пыли и ее дисперсностью, которые зависят от огромного числа различных факторов. Указанные параметры, в частности, являются основой для проектирования эффективных аспирационных систем пылеулавливания в подготовительных забоях [79, 81]. Что касается очистных забоев, то исследованием протекающих в них пылединамических процессов занимались многие ученые: С.Б. Романченко, А.А. Трубицын, В.В. Соболев, С.И. Голоскоков, С.С. Кубрин, А.С. Кобылкин и другие [4, 15, 28, 32-34, 81, 83, 84, 97, 100, 101]. Однако, ввиду постоянного роста нагрузки на комплексный механизированный забой, которая с 2000 г. по настоящее время увеличилась примерно в 3,5 раза, а также замены устаревшего горно-шахтного оборудования высокопроизводительными очистными комбайнами нового поколения со скоростью подачи до 51 м/мин. и частотой вращения режущего шнека до 56 об/мин., происходит увеличение степени загрязненности рудничной атмосферы тонкодисперсными частицами угля и породы. Ввиду этого, требуется постоянный мониторинг как запыленности, так и дисперсного состава аэрозоля [40]. В этой связи, важно определить какие параметры в наибольшей степени влияют на изменение дисперсного состава аэрозоля и увеличение в нем доли наиболее опасных для человека тонкодисперсных пылевидных фракций. Это позволит спрогнозировать изменение пылевой обстановки, скорректировать режим работы техники или параметры обеспыливания, а также предпринять превентивные мероприятия по усиленной защите работников от воздействия АПФД, ограничив время их пребывания в опасной зоне или обеспечив их СИЗОД более высокой степени защиты с повышенной периодичностью смены последних. Прежде чем, переходить непосредственно к оценке фактической пылевой обстановки в очистных забоях шахт АО «СУЭК-Кузбасс», целесообразно охарактеризовать условия ведения горных работ.

2.1 Горно-геологические условия, физико-механические и физико-химические свойства углей

В настоящее время в АО «СУЭК-Кузбасс» функционируют 7 шахт: «Талдинская-Западная-1», «Талдинская-западная-2», «Комсомолец», «Полысаевская», «имени А.Д. Рубана», «имени С.М. Кирова», «имени В.Д. Ялевского», краткие сведения по которым даны в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Краткая характеристика шахт АО «СУЭК-Кузбасс» [114]

Характеристика	Шахта						
	Имени С.М. Кирова	Имени А.Д. Рубана	Полысаевская	Имени В.Д. Ялевского	Талдинская-Западная-1	Талдинская-Западная-2	Комсомолец
Проектная мощность, млн. т	5,5	3,3	3,0	10,0	3,5	5,0	2,2
Вынимаемая мощность, м	1,6-2,4	2,51-5,0	1,4-2,2	3,6-4,8	4,0-5,15	5,8	1,47-2,8
Количество действующих очистных забоев	2	1	2	2	1	1	1
Среднесуточная добыча, т/сут	15629	7026	6305	20993	9600	10418	6601
Опасность по пыли	опасная	опасная	опасная	опасная	опасная	опасная	опасная
Относительная газооблильность (по метану), м ³ /т	18,61	13,25	12,48	17,55	1,72	1,84	23,5
Категория по метану на 2017 г.	сверхкатегорная	3	3	сверхкатегорная	1	1	сверхкатегорная

Ведется одновременная отработка одного-двух пластов при количестве проводимых подготовительных забоев до 8-9. Глубина ведения работ – 210-545 м. Отрабатываемые пласты характеризуются мощностью от 1,4 до 5,8 м. Большинство пластов (13 из 20) относятся к пологим (угол падения от 0 до 15 °) и 6 пластов – к наклонным с углом падения 20-25 ° (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Характеристика рабочих шахтопластов [114]

Наименование пласта	Глубина ведения работ	Мощность пласта, м	Угол падения пласта, град	Природная газоопасность, м ³ /т	Коэффициент крепости угля, f	Категория удароопасности пласта	Глубина, с которой пласт отнесен к опасным по горным ударам, м
1	2	3	4	5	6	7	8
Шахта имени С.М. Кирова							
Болдыревский	545	2,28-2,5	2-9	13-15	1,5-2	угрожаемый	150
Поленовский	455	1,8	2-9	17-20	1,5-2	угрожаемый	150
Шахта имени А.Д. Рубана							
Полысаевский-2	210	4,92	8-9	< 2	2,5	угрожаемый	220
Полысаевский-2 уч. Магистральный	282	5,05	2-9	2-6	2,5	угрожаемый	200
Надбайкаимский	325	2,51	6-8	4-6	1,5	угрожаемый	220
Байкаимский	402	2,6	5-12	4-9	1,5-1,9	угрожаемый	220
Шахта Комсомолец							
Бреевский	430-480	2,8	5-25	4-14	1,5	угрожаемый	230
Толмачевский	450-540	1,3-2,5	1-50	14-20	1,5	угрожаемый	150
Емельяновский	430	1,47	0-5	13-15	1,5	угрожаемый	230
Шахта Полысаевская							
Бреевский	130-480	1,6-1,75	10-20	10-15	1,3	угрожаемый	230
Толмачевский	370-420	2,2	6	16-17	1,3	угрожаемый	230
Шахта Имени В.Д. Ялевского							
Пласт 52 (уч. ш. Котинская)	425	4,0-4,7	0-14	до 15	0,9-2,5	угрожаемый	180
Пласт 52 (уч. ш. №7)	328-440	3,6-4,8	5-22	10-12	0,9-2,5	угрожаемый опасный	150 300
Пласт 52 (уч. ниж. горизонты ш. Котинская + уч. Котинский Западный)	415-440	3,6-4,8	5-22	10-12, до15	0,9-2,5	угрожаемый	180
Пласт 51	310	1,7-2,8	0-14	до 15	0,6-0,8	угрожаемый	150
Пласт 50 уч. ш. Котинская	350	3,79	8-12	до 12,5	1,0	угрожаемый	220
Шахта Талдинская-Западная-1							
Пласт 67	70-240	4,2-5,2	3-20	0-5	0,9-1,2	угрожаемый	240
Пласт 66	240-290	3,8-4,7	5-23	0-5	0,9-1,7	угрожаемый	200
Шахта Талдинская-Западная-2							
Пласт 70	540	4,2-5,7	5-15	0-5	0,9-1,2	угрожаемый	210
Пласт 69	530	5,6-5,8	5-15	0-6	1	угрожаемый	210

Большинство пластов – мощные. Все шахтопласты с глубин 150-210 м относятся к угрожаяемым по горным ударам. Природная газоносность пластов изменяется от 0 до 20 м³/т с.б.м. По показателю относительной газообильности (1,83-23,5 м³/т), 3 шахты являются сверхкатегорными, две шахты отнесены к 3 категории, и 2 шахты – к 1 категории. Средняя абсолютная газообильность варьируется в пределах от 9,32 до 184,5 м³/мин. Максимальная среднесуточная добыча (по данным за 2017 г.) отмечается на шахте «имени В.Д. Ялевского» (20993 т/сут.) и шахте «имени С.М. Кирова» (15629 т/сут.), минимальное количество угля выдает шахта «Полысаевская» – 6305 т/сут. Все шахты относятся к опасным по взрывчатости пыли (V^* более 40 %).

Горно-геологические условия залегания большинства пластов шахт АО «СУЭК-Кузбасс» можно охарактеризовать как осложненные и сложные. Рассмотренные горно-геологические условия определяют выбор способа и схемы вентиляции, влияют на количество подаваемого в горные выработки воздуха, его термодинамические параметры (температуру, влажность, энтальпию) и скорость его движения. Все это обуславливает особенности протекания аэрогазо- и пылединамических процессов, которые следует учитывать при планировании мероприятий по комплексному обеспыливанию.

Угленосные отложения и горные породы на соответствующих участках являются силикозоопасными (содержание свободной двуокиси кремния свыше 10 %), что повышает риск развития пневмокониозов у работников, занятых на подземных горных работах.

Отрабатываемые угли имеют в основном коэффициент крепости $f=1,5-2,5$, в некоторых случаях $f=0,8-0,9$, содержат прослойки алевролита и аргиллита с коэффициентом крепости $f=2-3$. Ложная кровля пластов, как правило, представлена аргиллитом и является довольно слабой ($f=2,5$). Непосредственную кровлю составляют аргиллиты средней крепости $f=3-4$, основную – крепкий песчаник с $f=6-7$. Непосредственная почва пласта представлена аргиллитом средней крепости $f=3-4$. От вида, крепости и устойчивости горных пород, слагающих почву и кровлю пласта, а также от входящих в состав прослоек,

зависит характер разрушения пласта, величина удельного пылевыведения, гранулометрический и химический состав переходящих во взвешенное состояние пылевидных частиц, а также степень износа горношахтного оборудования.

Добываемые на рассматриваемых шахтах угли относятся к маркам «Г», «ГЖ», «Д», «ДГ» и характеризуются высоким выходом летучих веществ ($V^{daf} = 36,6\%$ до $43,6\%$.) Содержание диоксида кремния (SiO_2) колеблется от 20 до 45 % и более. Влажность изменяется в пределах от 1,68 до 11,5 %. Пластовая зольность, в большинстве случаев составляющая до 10 %, значительно отличается от эксплуатационной. Так, в частности, при ведении работ по пласту 52 на шахте «имени В.Д. Ялевского» (лава 5211) эксплуатационная зольность (A_9^d) варьировалась в пределах от 11 до 22 %. В то же время, при ведении работ по пласту «Поленовский» на шахте «имени С.М. Кирова» $A_9^d = 26,2 - 48\%$. Угли отличаются низким содержанием серы и фосфора. Тем не менее, минимальное содержание серы (S_t^d) характерно для углей пласта «Толмачевский» и «Бреевский» шахты «Комсомолец» и составляют $S_t^d = 0,009\%$ и $S_t^d = 0,026\%$ соответственно. Наиболее серные угли на шахте имени «А.Д. Рубана» – $S_t^d = 0,6 - 0,7\%$.

Анализ горно-геологических условий залегания шахтопластов АО «СУЭК-Кузбасс», показал, что большинство из них характеризуется высокой природной газоносностью, склонностью к самовозгоранию, наличием ложной неустойчивой кровли, потенциальной опасностью проявления гео- и газодинамических явлений. Важно подчеркнуть, что отрабатываемые шахтопласты отличаются между собой вынимаемой мощностью, крепостью, влажностью, зольностью и содержанием диоксида кремния, что предопределяет их различие в пылеобразующей способности и формировании запыленности в очистных забоях и требует адресного подхода при выборе противопылевых мероприятий, параметров и режима функционирования средств обеспыливания. Учет этих особенностей необходим как для прогнозирования изменения пылевой обстановки, так и оперативного внесения коррективов в режим обеспыливания при изменении параметров пылевого аэрозоля.

2.2 Анализ эффективности применяемых методов, способов и средств обеспечения снижения запыленности

В настоящее время на всех шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» осуществляется оценка пылеобразующей способности углей, рассчитывается удельное пылевыведение и определяется прогнозная запыленность рудничного воздуха. Угольные пласты являются «пыльными» и «весьма пыльными», их пылеобразующая способность изменяется от 521,8 до 1369 г/т. Прогнозная запыленность варьируется от 134,2 до 6281 мг/м³. На всех этапах выполнения подготовительных и очистных работ, при транспортировке и перегрузке угля и горной массы, бурении скважин и шпуров, а также иных технологических операций, сопровождающихся интенсивным пылевыведением, применяются различные средства гидрообеспыливания и аспирации, предусмотренные нормативными документами. Для повышения смачиваемости углепородной пыли при орошении и предварительном увлажнении применяется смачиватель «Эльф-М», рабочая концентрация раствора которого принимается равной 0,02-0,03 %. Эффективность пылеподавления в очистных забоях с применением шахтного смачивателя согласно данным, представленным в проектах комплексного обеспыливания, достигает 93-99 %.

Однако анализ данных плановых замеров запыленности в лавах (таблица 2.3), проводимых как представителями ВГСЧ, так и специалистами участка АБ показывает, что значения фактической концентрации пыли на рабочих местах далеки от установленных ПДК и эффективность пылеподавления на порядок ниже заявленной. Значения запыленности в одних и тех же точках отбора, полученные ВГСЧ и службой АБ практически в одни и те же дни (таблица 2.4), иногда отличаются в несколько раз друг от друга без видимых на то причин: например, изменений свойств горных пород и угля, температурных, влажностных и аэрологических условий, что требует проведения дополнительного анализа ситуации и оценки влияющих факторов.

Таблица 2.3 – Результаты замеров запыленности в лаве 1212 шахты «имени В.Д. Ялевского» в 2016 г.

Дата замера	Место замера	v, м/с	C, мг/м ³	t, °С	P, кПа	W, %
13.01.16.	на месте машиниста комбайна	2,7	100,5	22,0	100,0	41,0
	на месте машиниста крепи	2,6	95,4			
	в 10-15 м от комбайна	2,3	128,2			
17.01.16.	на месте машиниста комбайна	2,7	100,5	22,0	99,0	45,0
17.02.16.	на месте машиниста комбайна	3,2	63,1	22,0	99,5	48,0
	на месте машиниста крепи	3,3	43,8			
	в 10-15 м от комбайна	3,3	72,6			
14.03.16.	на месте машиниста комбайна	2,4	103,1	22,0	99,5	48,0
	на месте машиниста крепи	2,4	97,3			
	в 10-15 м от комбайна	2,4	71,6			
29.04.16.	на месте машиниста комбайна	1,4	71,3	24,0	98,0	48,0
	на месте машиниста крепи	1,2	34,5			
	в 10-15 м от комбайна	1,2	26,5			
17.05.16.	на месте машиниста комбайна	2,38	42,3	23,0	98,0	46,0
	на месте машиниста крепи	2,36	62,9			
	в 10-15 м от комбайна	2,36	82,5			

Таблица 2.4 – Анализ замеров запыленности в лаве 24-59 шахты «имени С.М. Кирова», проведенных специалистами ВГСЧ и участка АБ

Служба, проводившая замер					
ВГСЧ			АБ		
Дата	Место замера	C, мг/м ³	Дата	Место замера	C, мг/м ³
03.10.17	на месте машиниста комбайна	47,1	01.10.17	на месте машиниста комбайна	92,2
	на месте машиниста крепи	51,3		на месте машиниста крепи	73,5
	в 10-15 м от комбайна	27,8		в 10-15 м от комбайна	81,7
07.10.17	на месте машиниста комбайна	35,7	15.09.17	на месте машиниста комбайна	99,9
	на месте машиниста крепи	-		на месте машиниста крепи	75,6
	в 10-15 м от комбайна	-		в 10-15 м от комбайна	83,4

В ряде случаев при измерении концентрации пыли в одних и тех же точках отбора проб в очистных забоях при практически равных условиях через незначительные промежутки времени отмечаются некоторые расхождения в полученных значениях. Это может быть обусловлено либо неточностью измерений или не-учетом ряда факторов (например, «скачком» эксплуатационной зольности угля, значение которой по некоторым пластам в течение года в отдельные месяцы изменяется более чем на 10 %).

При выборе рабочей концентрации шахтного смачивателя учитывается только марка угля и не рассматриваются особенности его петрографического и химического состава, зольность, влажность, которые влияют на эффективность пылеподавления. Ведется расчет удельного пылевыделения и прогнозной запыленности, но нигде при проведении противопылевых мероприятий не учитываются различия этих характеристик для шахтопластов и условий ведения горных работ для различных шахт.

Поэтому весьма важно наблюдать за динамикой запыленности и оценивать влияние на нее различных факторов с целью внесения своевременных коррективов в режим гидрообеспыливания (например, изменения концентрации рабочего раствора смачивателя либо давления на оросителях).

Анализ профзаболеваемости работников угольных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» и результатов СОУТ подтверждает тот факт, что остаточная запыленность воздуха в очистных и подготовительных забоях остается достаточно высокой. Применяемые противопылевые мероприятия не дают должного эффекта вследствие, в том числе, недифференцированного подхода к выбору средств обеспыливания в очистных забоях.

2.3 Натурные исследования динамики запыленности

В 2018 году были проведены исследования динамики запыленности и дисперсного состава пылевого аэрозоля в действующих очистных забоях и прилегающих к ним конвейерных выработках 4-х шахт АО «СУЭК-Кузбасс»: «имени А.Д. Рубана», «Галдинская-Западная-2», «имени В.Д. Ялевского» и

«имени С.М. Кирова». Замеры фактической концентрации пыли производились в лавах в процессе резки угля на рабочем месте машиниста комбайна, на рабочем месте машиниста крепи и в 10-15 м от комбайна по ходу движения воздушной струи (рисунок 2.1), а также на исходящей из забоя вентиляционной струе в 10-15 м после обеспыливающей завесы, установленной в 20 м от сопряжения лавы с конвейерным штреком.

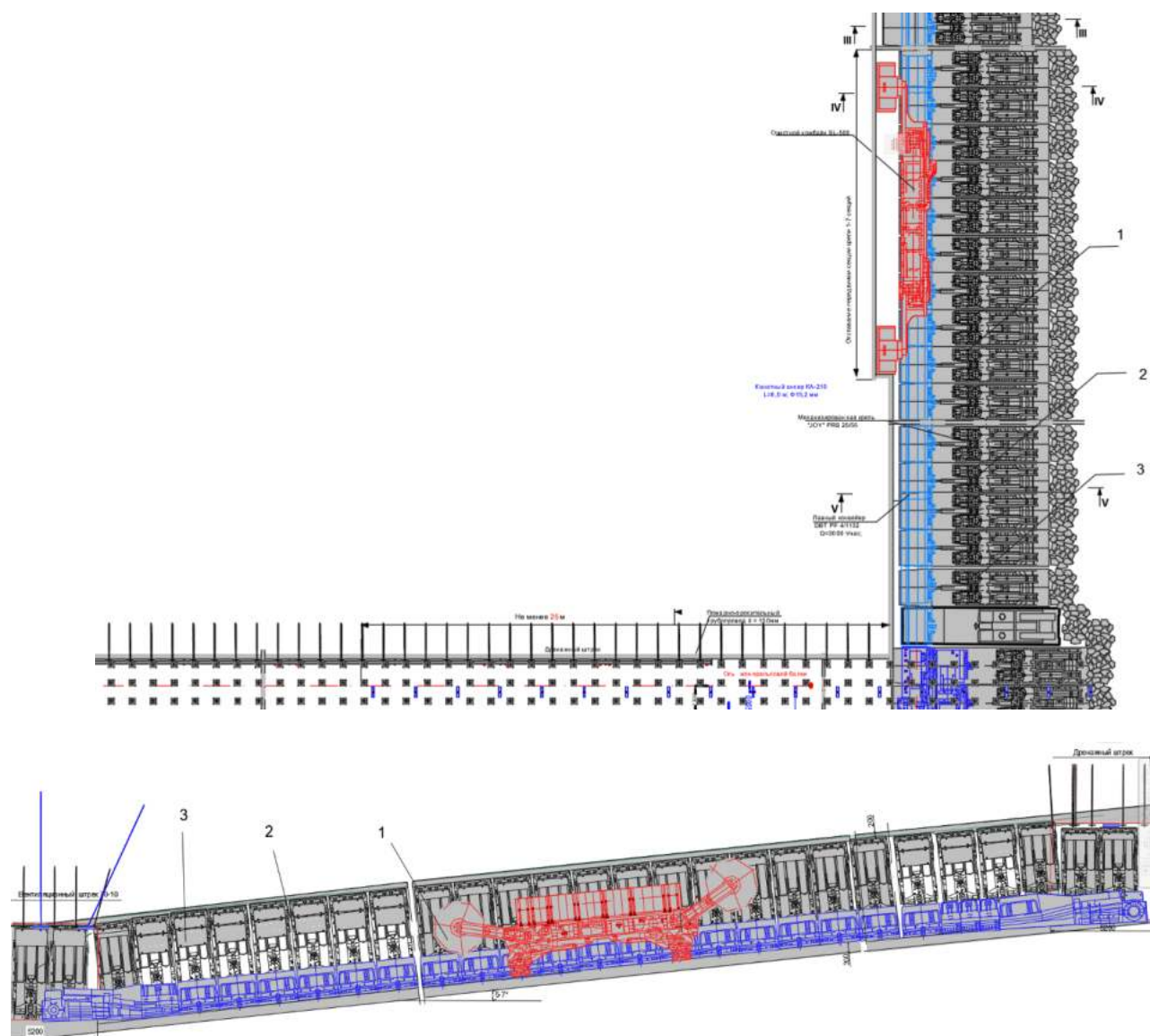


Рисунок 2.1 – Места замерных пунктов в очистном забое

1 – на рабочем месте машиниста комбайна; 2 – на рабочем месте машиниста крепи,
3 – в 10-15 м от комбайна

В каждой точке всего было произведено не менее 6 замеров запыленности: по 3 параллельных измерения двумя различными приборами – «АЭРА» и «ПКА-01» (рисунок 2.2). Основные характеристики пылемеров приведены в таблице 2.5.



Рисунок 2.2 – Приборы для проведения шахтных измерений запыленности

а) АЭРА; б) ПКА-01

Таблица 2.5 – Основные характеристики пылемеров «АЭРА» и «ПКА-01»

Наименование параметра	Значение	
	АЭРА	ПКА-01
Диапазон измерений массовой концентрации пыли, мг/м ³	0,01-1000	2-1000
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения массовой концентрации пыли в диапазоне до 1000 мг/м ³ , %	±10	±25
Диапазон времени отбора пробы, мин.	0,5-60	0,1-3
Расход воздуха, дм ³ /мин.	0,1-20	0,5-39,0
Масса, не более, кг	7,7	0,95
Время непрерывной работы, не менее, ч	0,8-1	4

Замеры запыленности производились при всех включенных средствах орошения с использованием одного типа смачивателя и одинаковой концентрации его рабочего раствора. Также проводилось измерение атмосферного давления, температуры, влажности и скорости движения воздуха.

Наименование и расположение лав, в которых были произведены измерения запыленности представлены на выкопировках из планов горных работ на рисунках 2.3-2.6. Полученные результаты сведены в таблицы 2.6-2.9.

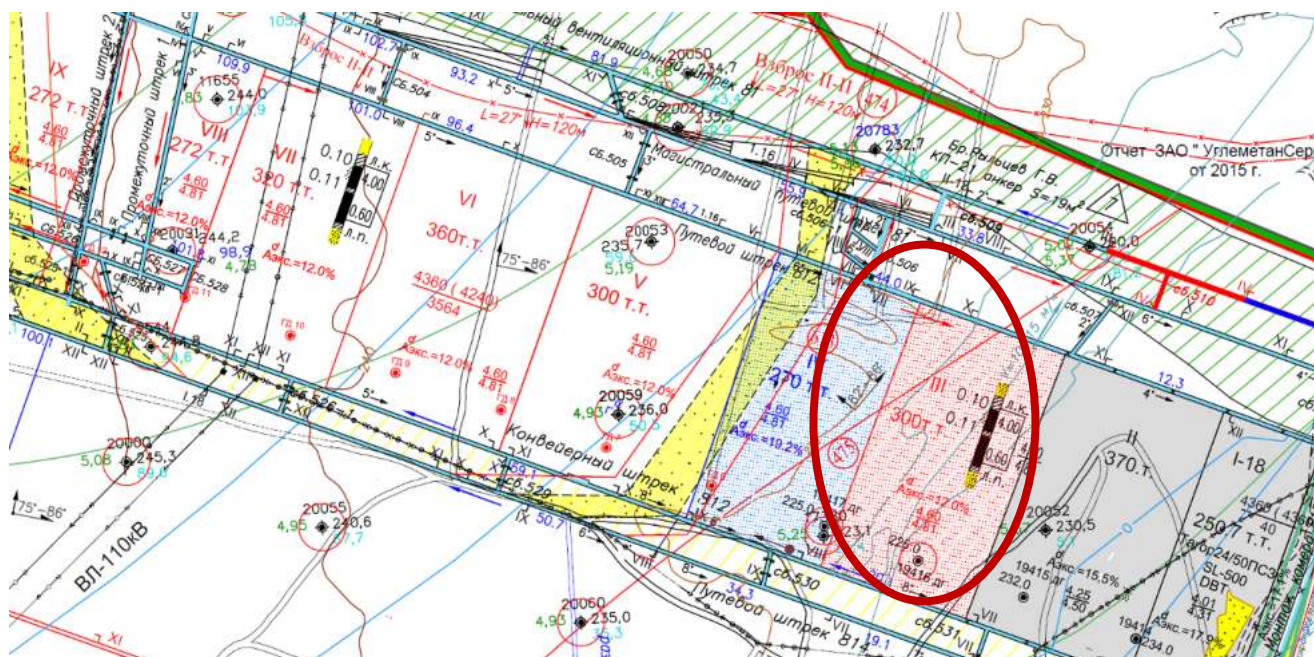


Рисунок 2.3 – Лава «812» шахты «имени А.Д. Рубана»

Таблица 2.6 – Результаты измерения запыленности в лаве «812» шахты «имени А.Д. Рубана» (пласт «Полысаевский-2»)

Точка замера	№ за-мера	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (АЭРА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (ПКА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Атмо-сфер-ное давле-ние, p ₀ , кПа	Темпе-ра-тура воз-духа, t, °С	Влаж-ность воз-духа, W, %
На месте машиниста комбайна	1	191,67	194,44	180,55	178,29	101,8	15	41,0
	2	183,33		164,50				
	3	208,33		189,81				
На месте машиниста крепи	4	141,67	138,89	145,90	155,01	101,8	15	41,0
	5	133,33		176,12				
	6	141,67		143,00				
В 10-15 м от комбайна	7	83,33	83,33	74,83	81,16	101,8	15	41,0
	8	75,00		90,10				
	9	91,67		78,54				
В 10-15 м от водяной завесы	10	33,33	33,33	25,60	28,60	101,3	14	63,0
	11	25,00		31,50				
	12	41,67		28,70				

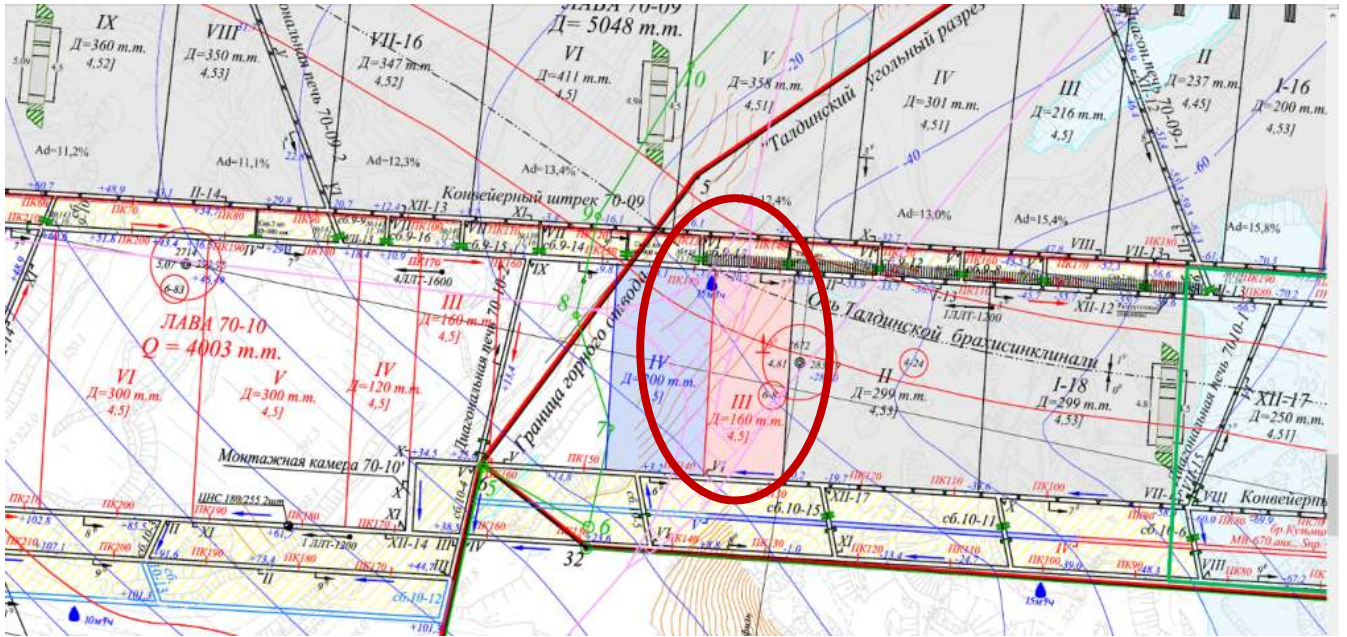


Рисунок 2.4 – Лава «70-10» шахты «Талдинская-западная-2»

Таблица 2.7 – Результаты измерения запыленности в лаве «70-10» шахты «Талдинская-Западная-2» (пласт «70»)

Точка замера	№ за-мера	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (АЭРА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (ПКА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Атмо-сфер-ное давлeние, p ₀ , кПа	Темпeра-тура воз-духа, t, °С	Влаж-ность воз-духа, W, %
На месте машиниста комбайна	1	187,50	184,38	195,50	200,57	102,5	18	75
	2	183,46		206,80				
	3	182,19		199,42				
На месте машиниста крепи	4	100,00	100,00	97,40	85,48	102,5	18	75
	5	75,00		80,14				
	6	125,00		78,90				
В 10-15 м от комбайна	7	33,33	25,00	33,90	39,23	102,5	18	75
	8	16,67		45,10				
	9	25,00		38,70				
В 10-15 м от водяной завесы	10	35,00	31,67	32,20	31,60	102,4	16	81
	11	28,33		34,20				
	12	31,67		28,40				

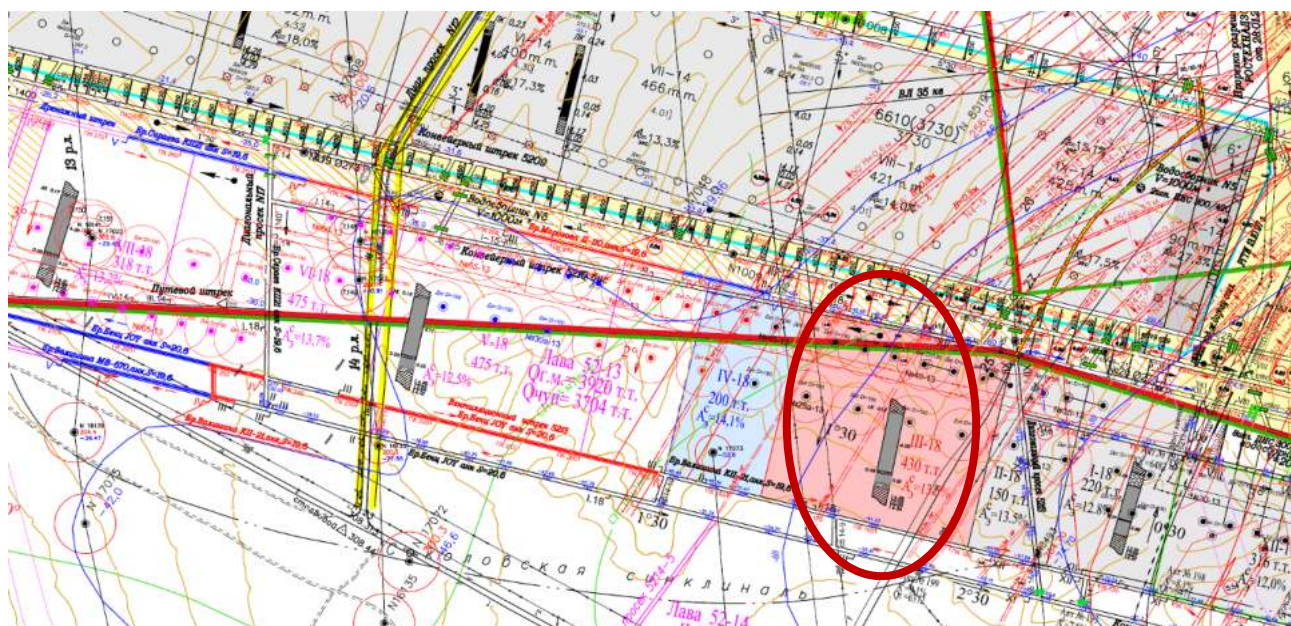


Рисунок 2.5 – Лава «52-13» шахты «имени В.Д. Ялевского»

Таблица 2.8 – Результаты измерения запыленности в лаве «52-13» шахты «имени В.Д. Ялевского» (пласт «52»)

Точка замера	№ за-мера	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (АЭРА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (ПКА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Атмо-сфер-ное давле-ние, p ₀ кПа	Темпе-ра-тура воз-духа, t, °С	Влаж-ность воз-духа, W, %
На месте машиниста комбайна	1	223,00	221,57	238,40	238,80	102,4	17	43
	2	215,70		241,70				
	3	226,00		236,30				
На месте машиниста крепи	4	200,00	198,67	196,90	198,17	102,4	17	43
	5	192,00		202,10				
	6	204,00		195,50				
В 10-15 м от комбайна	7	155,30	172,20	168,90	184,80	102,4	17	43
	8	167,10		201,20				
	9	194,20		184,30				
В 10-15 м от водяной завесы	10	42,10	43,33	32,70	34,40	102,4	16	48
	11	38,40		40,40				
	12	49,50		30,10				

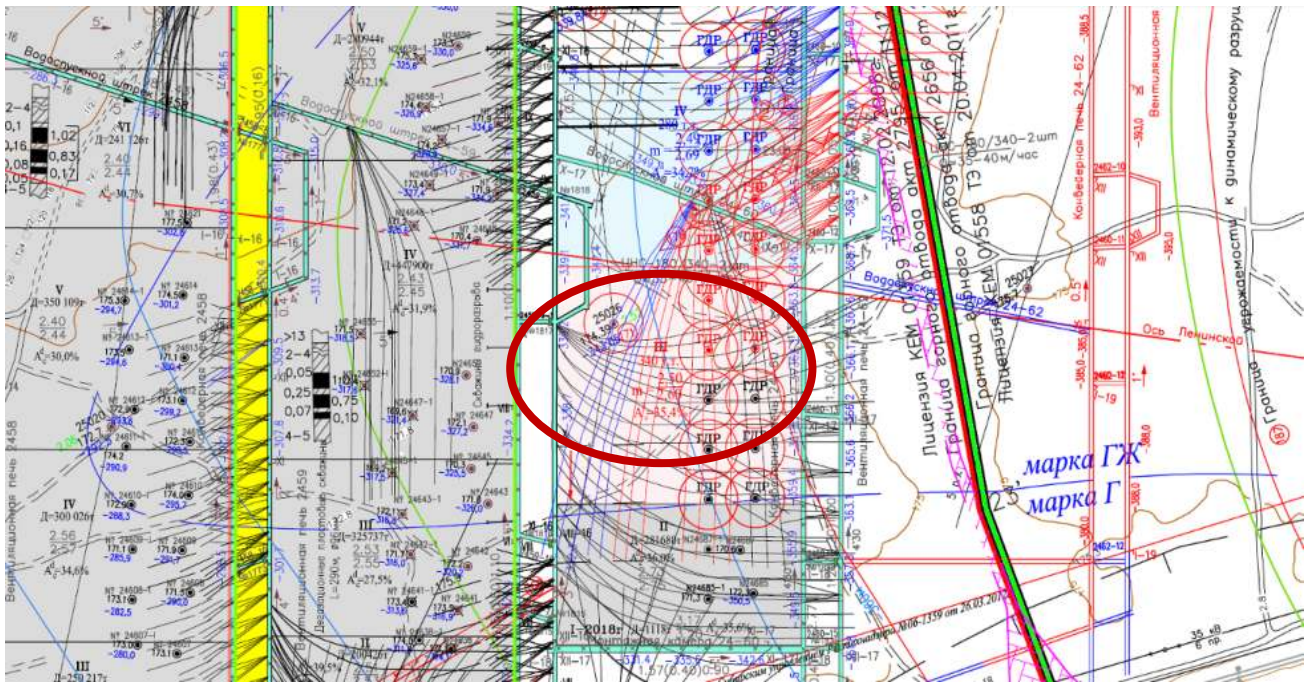


Рисунок 2.6 – Лавы 24-60 шахты «имени С.М. Кирова»

Таблица 2.9 – Результаты измерения запыленности в лаве «24-60» шахты «имени С.М. Кирова» (пласт «Болдыревский»)

Точка замера	№ за-мера	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (АЭРА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Запы-лен-ность, С, мг/м ³ (ПКА)	Сред-няя запы-лен-ность, мг/м ³	Атмо-сфер-ное давле-ние, p ₀ , кПа	Темп-ера-тура воз-духа, t, °С	Влаж-ность воз-духа, W, %
На месте машиниста комбайна	1	57,14	47,67	55,50	42,50	101,2	17	46
	2	37,29		39,60				
	3	48,57		32,40				
На месте машиниста крепи	4	29,29	27,86	22,43	26,61	101,2	17	46
	5	22,86		28,70				
	6	31,43		28,70				
В 10-15 м от комбайна	7	44,00	40,61	34,60	40,73	101,2	17	46
	8	38,50		40,40				
	9	39,32		47,20				
В 10-15 м от водяной завесы	10	11,30	9,13	10,50	10,23	100,6	15	84
	11	7,60		8,20				
	12	8,50		12,00				

На всех шахтах наблюдается снижение концентрации пыли по мере удаления от источника пылевыведения – работающего очистного комбайна. Максимальная концентрация пыли зафиксирована на месте машиниста комбайна в лаве «52-13» на шахте «имени В.Д. Ялевского 221,57-238,80 мг/м³. В остальных замерных точках на этой же шахте отмечаются наиболее высокие показатели максимально-разовой концентрации пыли. На втором месте по запыленности – лава «812» шахты «имени А.Д. Рубана». Средние значения МРК здесь варьируется от 194,44 мг/м³ возле очистного комбайна до 83,3 мг/м³ – на расстоянии 15 м от него. Пиковые концентрации пыли в воздухе, зафиксированные при помощи пылемера ПКА-01, достигали 400-450 мг/м³ и более.

На месте машиниста крепи запыленность была на уровне 27,86-198,67 мг/м³, на расстоянии 10-15 м от комбайна – 25,0-172,2 мг/м³, после водяной завесы на исходящей струе – 9,13-43,33 мг/м³. Наиболее благоприятные условия труда по пылевому фактору из рассмотренных шахт на шахте «имени С.М. Кирова». На месте машиниста комбайна концентрация пыли зафиксирована в пределах от 37,29 до 57,14 мг/м³, в 10-15 м от комбайна – от 38,5 до 44,0 мг/м³, после водяной завесы – 8,5-11,3 мг/м³.

Таким образом, условия труда по пылевому фактору на рабочих местах в очистных забоях рассмотренных шахт очень сильно отличается друг от друга, несмотря на то, что везде используются одинаковые высокотехнологичные средства гидрообеспыливания, применяется один и тот же смачиватель с одной и той же концентрацией рабочего раствора. Очевидным является, что наибольшая запыленность в момент резания угля отмечается при нахождении рядом с исполнительным органом комбайна, по мере удаления от которого концентрация витающей пыли снижается. Однако и здесь есть некоторые особенности формирования зон запыленности: нужно учитывать направление движения воздуха и направление подачи комбайна при челноковой схеме выемки угля. Для прогноза пылевой обстановки и управления ей необходимо знать какие факторы в наибольшей степени и каким образом влияют на формирование запыленности. Подробный многофакторный анализ приведен в разделе 2.6 данной главы.

2.4 Определение дисперсного состава пылевого аэрозоля

Для всесторонней оценки условий труда по пылевому фактору в очистных забоях вышеуказанных шахт были проведены исследования дисперсного состава пылевого аэрозоля. С помощью прибора «АЭРА» на фильтры АФА-ВП-20 были отобраны пробы пыли (рисунок 2.7), которые доставлялись в лабораторию в герметичных контейнерах (рисунок 2.8) и анализировались на электронном микроскопе «Leica DM4000 В LED» (рисунок 2.9). Статистическая обработка полученных со 100-кратным увеличением изображений (рисунок 2.10) производилась в программном комплексе «Leica Application Suite» (рисунок 2.11).



Рисунок 2.7 – Внешний вид фильтра с отобранной пылью для исследования дисперсного состава

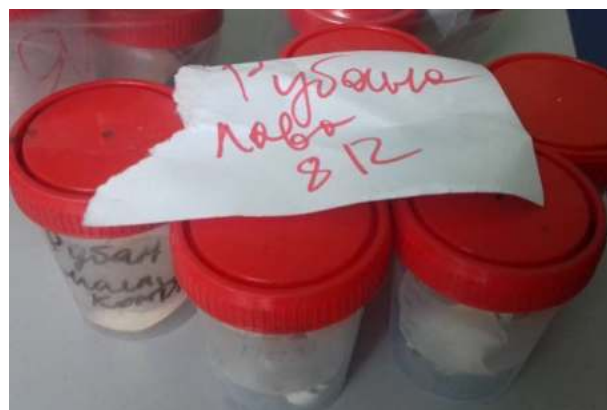


Рисунок 2.8 – Отобранные пробы пыли на фильтрах, упакованные в герметичные контейнеры



а)



б)

Рисунок 2.9 – Микроскоп «Leica DM4000 В LED»

а) с размещенной пробой пыли на столике; б) общий вид микроскопа с ПК и ПО для статистической обработки данных

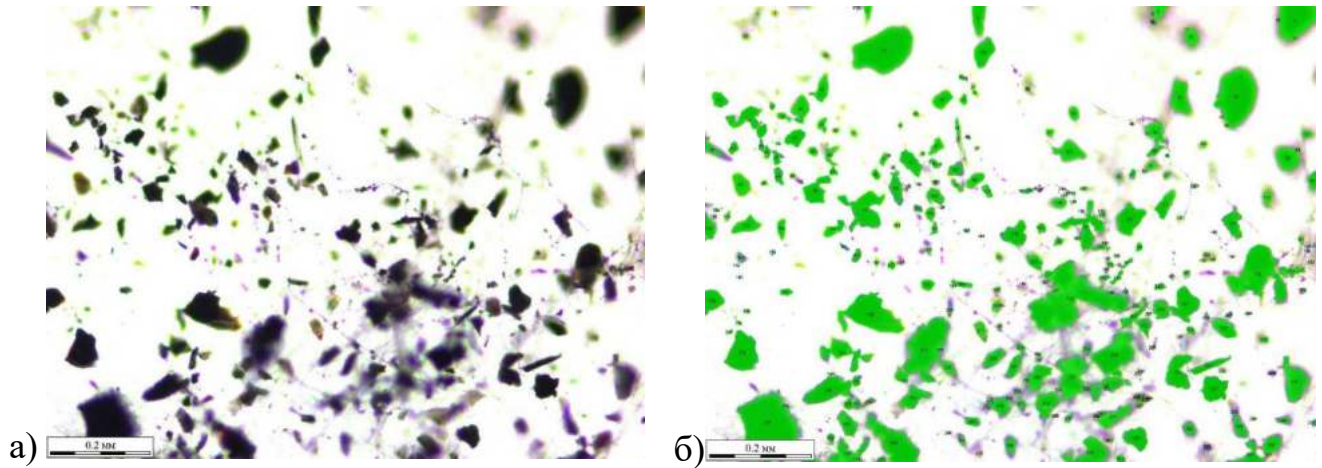


Рисунок 2.10 – Анализ дисперсного состава пыли:

- а) структура отобранной в 10-15 м от очистного комбайна на шахте «имени С.М. Кирова» витающей пыли при 100-кратном увеличении; б) изображение пыли, статистически обработанное в «Leica Application Suite»

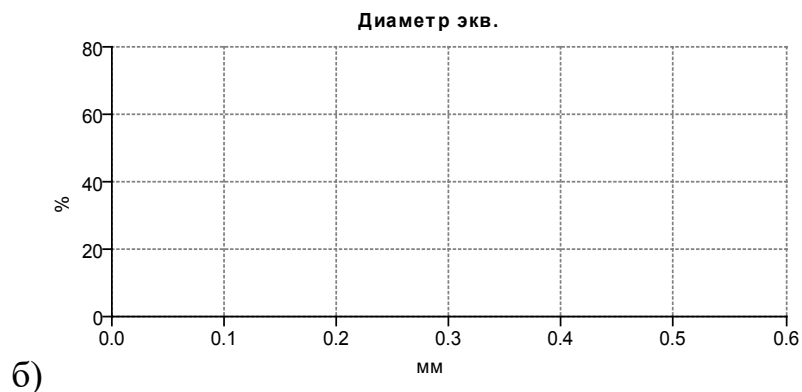
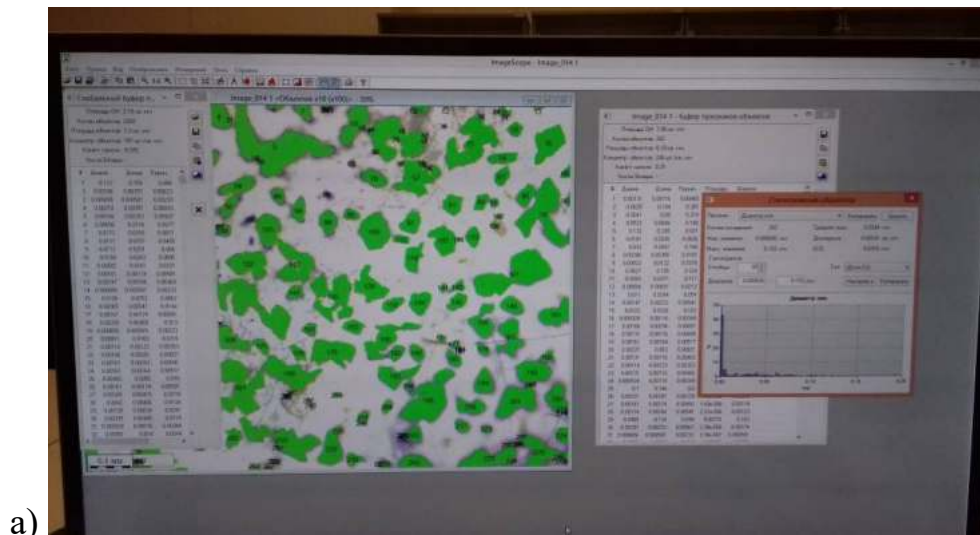


Рисунок 2.11 – Статистическая обработка данных изображения пробы в программном комплексе «Leica Application Suite»:

- а) интерфейс программы; б) результат анализа в графическом виде – доля частиц в % с определенным эквивалентным диаметром

Количество статистически обработанных объектов (частиц) для одной пробы пыли составляло от 3515 до 6573 в зависимости от дисперсности пыли и загрязненности фильтра. Главным критерием необходимого числа изображений и этапов анализа для одного фильтра был охват с определенным шагом всей поверхности фильтра, что необходимо для получения представительных данных. Крупность фиксируемых частиц варьировалась в диапазоне от 0,656 до 987 мкм. Среднее квадратичное отклонение составило $\sigma = 0,0037-0,0628$ мм, дисперсия $\sigma^2 = 0,002-0,486$ мм². Результаты анализа дисперсного состава пылевого аэрозоля в ранее указанных замерных точках представлены в таблицах 2.10-2.13 и на рисунках 2.12-2.14 [38, 41, 42, 77].

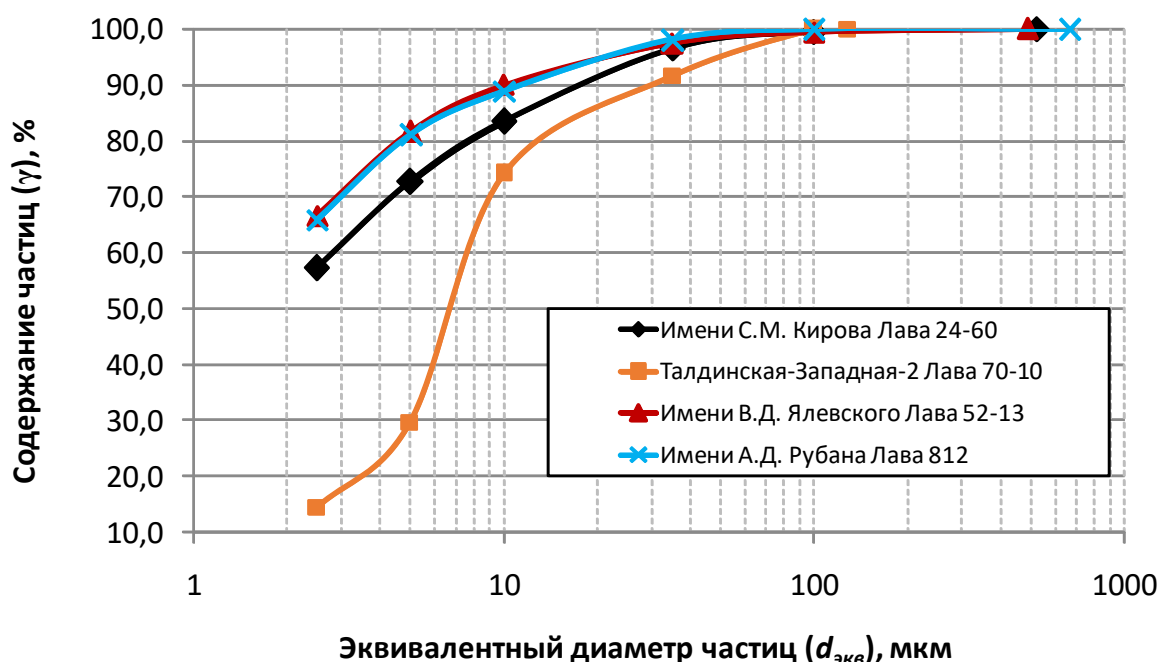


Рисунок 2.12 – Интегральные кривые (по минусу) дисперсного состава витающей угольной пыли на месте машиниста комбайна в очистном забое

Таблица 2.10 – Результаты анализа дисперсного состава пылевого аэрозоля в лаве «812» шахты «имени А.Д. Рубана» (пласт «Полысаевский-2»)

Место замера	№ за-мера	Кол-во час-тиц	Эквивалент-ный диаметр частиц, $d_{экв.}$, мкм		Дис-пер-сия, σ^2 , мм ²	Сред-нее квадра-тичное откло-нение, σ , мм	Содержание частиц с эквивалентным диаметром по фракциям, γ , %									
			Мини-маль-ный	Макс-имал-ьный			0,656-2,5 мкм	2,5-5 мкм	5-10 мкм	10-35 мкм	35-100 мкм	100-1000 мкм	0,1-10 мкм	0,1-35 мкм	Сред-нее 0,1-10 мкм	Сред-нее 0,1-35 мкм
На месте машиниста комбайна	1	4002	0,656	677	0,229	0,0551	67,4	14,5	8,3	7,7	2,0	0,1	90,2	97,9	88,8	98,1
	2	5627	0,656	724	0,262	0,0504	64,2	16,7	6,5	10,9	1,5	0,2	87,4	98,3		
	3	4702	0,656	120	0,007	0,0266	65,9	15,1	7,8	9,3	1,8	0,1	88,8	98,1		
На месте машиниста крепи	4	3767	0,656	384	0,073	0,0594	40,8	25,0	19,3	10,5	2,4	2	85,1	95,6	84,6	95,7
	5	3515	0,656	803	0,322	0,0400	43,0	22,7	18,8	10,9	3,6	1	84,5	95,4		
	6	3562	0,656	725	0,262	0,0502	41,9	23,4	19	11,7	2,4	1,6	84,3	96,0		
В 10-15 м от комбайна	7	4697	0,656	255	0,032	0,0477	22,2	15,5	17,8	23	19,4	2,1	55,5	78,5	56,7	78,2
	8	6103	0,656	855	0,365	0,0314	25,5	14,8	17,1	20,9	17,7	4	57,4	78,3		
	9	5171	0,656	812	0,329	0,0386	24,1	16,4	16,8	20,5	20,2	2	57,3	77,8		

Таблица 2.11 – Результаты анализа дисперсного состава пылевого аэрозоля в лаве «70-10» шахты «Галдинская-Западная-2» (пласт «70»)

Место замера	№ за-мера	Кол-во час-тиц	Эквивалент-ный диаметр частиц, $d_{экв.}$, мкм		Дис-пер-сия, σ^2 , мм ²	Сред-нее квадра-тичное откло-нение, σ , мм	Содержание частиц с эквивалентным диаметром по фракциям, γ , %									
			Мини-маль-ный	Макс-имал-ьный			0,656-2,5 мкм	2,5-5 мкм	5-10 мкм	10-35 мкм	35-100 мкм	100-1000 мкм	0,1-10 мкм	0,1-35 мкм	Сред-нее 0,1-10 мкм	Сред-нее 0,1-35 мкм
На месте машиниста комбайна	1	5633	0,656	129	0,008	0,0283	44,6	15,3	14,4	17,5	8,1	0,1	74,3	91,8	74,3	91,8
	2	4351	0,656	750	0,281	0,0473	36,9	17,2	21,3	16,6	7,4	0,6	75,4	92,0		
	3	6003	0,656	121	0,007	0,0268	39,1	14,5	19,6	18,3	8,0	0,5	73,2	91,5		
На месте машиниста крепи	4	4168	0,656	289	0,021	0,0620	17,6	17,6	37,8	17,1	8,1	1,8	73,0	90,1	72,2	89,1
	5	4141	0,656	68	0,002	0,0160	23,1	21,2	28,2	16,2	10,2	1,1	72,5	88,7		
	6	5232	0,656	134	0,009	0,0292	21,3	19,8	30,0	17,4	9,5	2,0	71,1	88,5		
В 10-15 м от комбайна	7	4122	0,656	174	0,015	0,0362	20,3	8,1	32,3	23,5	14,7	1,1	60,7	84,2	60,4	84,7
	8	5028	0,656	215	0,023	0,0424	22,1	7,6	29,8	26,6	11,6	2,3	59,5	86,1		
	9	3911	0,656	186	0,017	0,0381	21,0	8,0	32,0	22,7	15,4	0,9	61,0	83,7		

Таблица 2.12 – Результаты анализа дисперсного состава пылевого аэрозоля в лаве «52-13» шахты «имени В.Д. Ялевского» (пласт «52»)

Место замера	№ за-мера	Кол-во час-тиц	Эквивалент-ный диаметр частиц, $d_{экв.}$, мкм		Дис-пер-сия, σ^2 , мм ²	Сред-нее квадра-тичное откло-нение, σ , мм	Содержание частиц с эквивалентным диаметром по фракциям, γ , %									
			Мини-мальный	Макс-имал-ьный			0,656-2,5 мкм	2,5-5 мкм	5-10 мкм	10-35 мкм	35-100 мкм	100-1000 мкм	0,1-10 мкм	0,1-35 мкм	Сред-нее 0,1-10 мкм	Сред-нее 0,1-35 мкм
На месте машиниста комбайна	1	5909	0,656	879	0,386	0,0270	65,1	15,5	10,9	4,6	3,1	0,8	91,5	96,1	90,0	97,4
	2	4102	0,656	489	0,119	0,0628	66,6	15	8,4	7,4	2	0,6	90,0	97,4		
	3	4504	0,656	482	0,116	0,0627	57,2	17,9	13,5	10,1	1,1	0,2	88,6	98,7		
На месте машиниста крепи	4	4534	0,656	987	0,486	0,0037	54,5	17,5	13,7	11,7	2,5	0,1	85,7	97,4	85,8	96,5
	5	3927	0,656	828	0,342	0,0360	56,5	16,4	13,2	9,7	3,6	0,6	86,1	95,8		
	6	6573	0,656	822	0,337	0,0370	61,3	14,8	9,4	10,9	3,3	0,3	85,5	96,4		
В 10-15 м от комбайна	7	4695	0,656	914	0,417	0,0201	56,9	9,2	7,3	16,9	9,5	0,2	73,4	90,3	74,9	89,7
	8	3974	0,656	930	0,432	0,0167	57,3	8,8	8,2	14,4	10,9	0,4	74,3	88,7		
	9	5724	0,656	811	0,328	0,0387	59,2	8,7	9,1	13,1	9,6	0,3	77,0	90,1		

Таблица 2.13 – Результаты анализа дисперсного состава пылевого аэрозоля в лаве «24-60» шахты «имени С.М. Кирова» (пласт «Болдыревский»)

Место замера	№ за-мера	Кол-во час-тиц	Эквивалент-ный диаметр частиц, $d_{экв.}$, мкм		Дис-пер-сия, σ^2 , мм ²	Сред-нее квадра-тичное откло-нение, σ , мм	Содержание частиц с эквивалентным диаметром по фракциям, γ , %									
			Мини-мальный	Макс-имал-ьный			0,656-2,5 мкм	2,5-5 мкм	5-10 мкм	10-35 мкм	35-100 мкм	100-1000 мкм	0,1-10 мкм	0,1-35 мкм	Сред-нее 0,1-10 мкм	Сред-нее 0,1-35 мкм
На месте машиниста комбайна	1	6275	0,656	688	0,236	0,0541	53,2	14,9	16	12,9	2,8	0,2	84,1	97,0	83,4	96,6
	2	4240	0,656	488	0,119	0,0628	51,0	15,9	15,9	13,4	3,3	0,5	82,8	96,2		
	3	3537	0,656	522	0,136	0,0627	57,3	15,4	10,7	13,2	2,9	0,5	83,4	96,6		
На месте машиниста крепи	4	4217	0,656	880	0,387	0,0269	33,8	14,5	19,8	21,2	8,3	2,4	68,1	89,3	69,4	89,4
	5	5430	0,656	905	0,409	0,0220	35,5	15,1	20,2	19,4	7,2	2,6	70,8	90,2		
	6	3625	0,656	940	0,441	0,0146	34,9	14,8	19,7	19,2	9,0	2,4	69,4	88,6		
В 10-15 м от комбайна	7	4481	0,656	401	0,080	0,0603	13,5	20,3	19,6	21,2	19,1	6,3	53,4	74,6	52,5	75,6
	8	6127	0,656	430	0,092	0,0616	13,8	14,5	22,2	25,8	18,2	5,5	50,5	76,3		
	9	4556	0,656	617	0,190	0,0594	15,0	16,4	22,1	22,3	18,6	5,6	53,5	75,8		

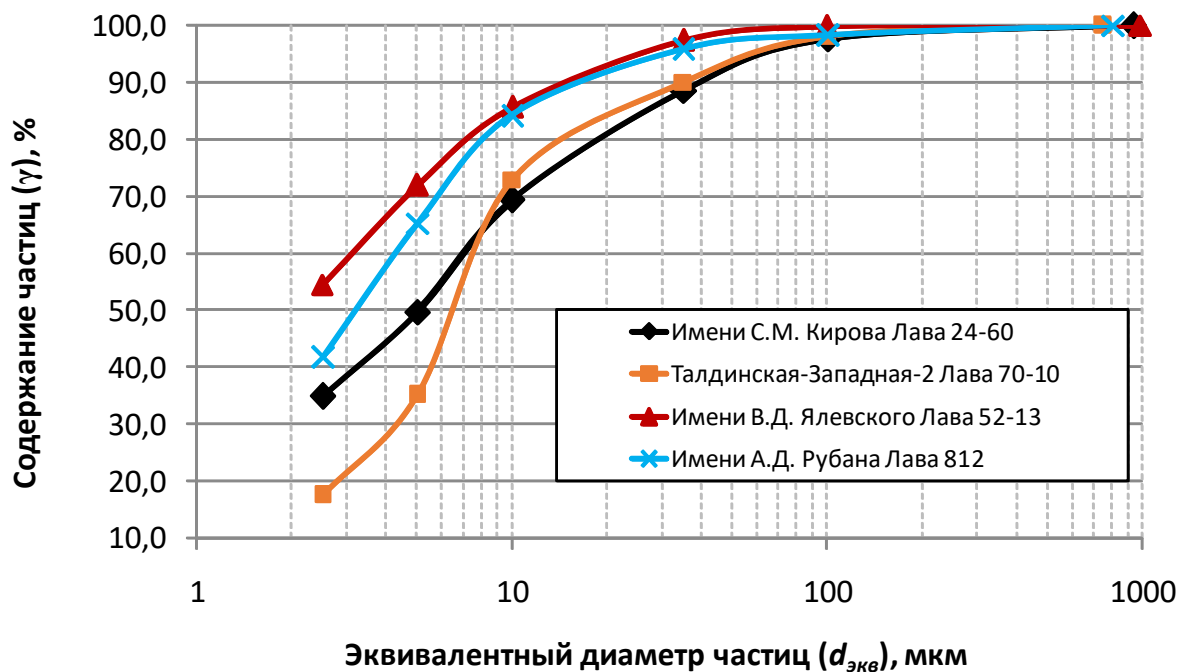


Рисунок 2.13 – Интегральные кривые (по минусу) дисперсного состава витающей угольной пыли на месте машиниста крепи в очистном забое

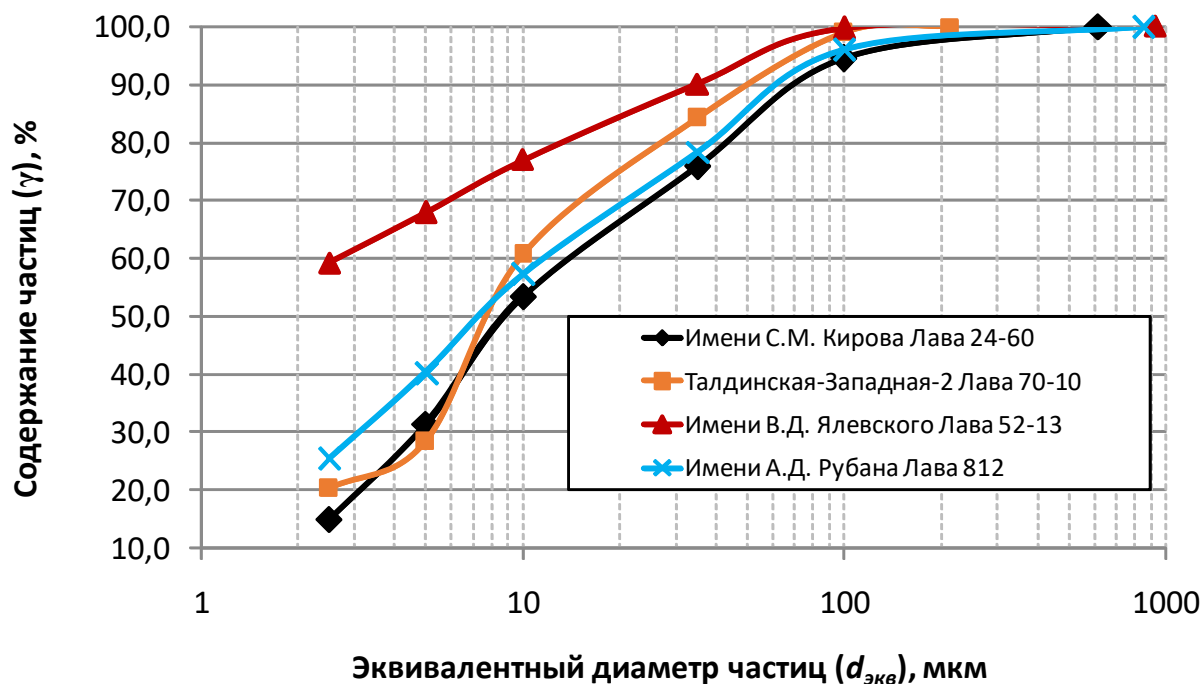


Рисунок 2.14 – Интегральные кривые (по минусу) дисперсного состава витающей угольной пыли в 10-15 м от очистного комбайна

Из данных, представленных на вышеприведенных графиках и в таблицах, следует, что подавляющее количество частиц в пылевом аэрозоле имеют размер менее 35 мкм, т.е. относятся к торакальной и респирабельной фракциям. Наибольшее содержание тонкодисперсных частиц в воздухе очистных забоев зафиксировано в непосредственной близости от исполнительного органа комбайна в момент разрушения угольного пласта. Доля частиц торакальной фракции (0,1-35 мкм) составила от 91,8 % до 98,1 %, включая 74,3-90 % пыли респирабельной фракции размером от 0,1 до 10 мкм. По мере увеличения расстояния от источника пылеобразования концентрация тонкодисперсных частиц снижалась и на расстоянии 15 м от комбайна составила в среднем 52,5-74,9 % – для респирабельной фракции и 75,6-89,7 % – для торакальной фракции. При этом отмечается увеличение доли пыли с эквивалентным диаметром от 35 до 100 мкм. Это может быть обусловлено тем, что более мелкие пылевидные частицы в процессе работы комбайна интенсивно увлекаются вихревыми и турбулентными потоками воздуха, создаваемыми вращательным движением исполнительного органа, и находятся во время его работы возле него. Частицы, которые все же были увлечены потоком подаваемого в лаву свежего воздуха, успевают в процессе движения еще больше насытиться водой, попавшей на них в процессе орошения, и при соударении с другими частицами образуют конгломераты.

Анализируя графики, приведенные на рисунках 2.12-2.14, видим, что интегральные кривые дисперсного состава витающей угольной пыли, отобранной в различных замерных точках, для шахт «имени В.Д. Ялевского» и «имени А.Д. Рубана» лежат выше других кривых. Это говорит о том, что в воздухе рабочих мест очистных забоев именно этих шахт наибольшее содержание тонкодисперсных частиц: соответственно для рабочего места машиниста комбайна $\gamma_{0,1-2,5} = 66,6 \%$, $\gamma_{0,1-2,5} = 67,4 \%$; $\gamma_{0,1-10} = 90,0 \%$, $\gamma_{0,1-10} = 88,8 \%$; $\gamma_{0,1-35} = 97,4 \%$, $\gamma_{0,1-35} = 98,1 \%$. Наряду с наиболее высокой запыленностью на данных рабочих местах это обуславливает более высокий риск развития профзаболеваний пылевой этиологии. Для понимания того, какие факторы оказывают

превалирующее воздействие на концентрацию тонкодисперсных частиц в горных выработках, был проведен корреляционно-регрессионный анализ, результаты которого приведены в разделе (2.7) настоящей главы.

2.5 Теоретические исследования пылединамических процессов

Углеродная пыль не только вредна для человека, но и опасна ввиду ее взрывчатости при определенных условиях, а именно: выходе летучих веществ более 15 %, концентрации в воздухе, находящиеся в пределах взрываемости от 10-50 г/м³ до 2000-3000 г/м³, наличии достаточного объема окислителя и теплового импульса. Недостаточное качество пылевого контроля и низкая эффективность противопылевых мероприятий неоднократно приводили к взрывам углеродной пыли с трагическими и разрушительными последствиями в условиях угольных шахт [40, 57, 60, 81]. Уровень профзаболеваемости пылевой этиологии и связанной с ней смертности среди работников угольных шахт остается неприемлемым.

В связи с этим, для разработки наиболее действенных противопылевых средств и снижения запыленности до значений ПДК или близких к ним, ученые во все времена стремятся к объективной оценке пылевой обстановки и ее прогнозу при динамично меняющихся горно-геологических условиях и горнотехнических факторах.

Так в работе Г.А. Позднякова, И.Г. Ищука [66] для расчета запыленности воздуха N при разрушении горного массива комбайном, имеющим корончатый исполнительный орган, предложена к использованию следующая формула:

$$N = 180 \cdot q_k \cdot f \cdot \exp(-0,4 \cdot W_m) + N_n \text{ мг/м}^3 \quad (2.1)$$

где q_k – часовая производительность комбайна, т; f – коэффициент крепости пород по шкале проф. М.М. Протодяконова; W_m – влажность горного массива, %; N_n – запыленность воздуха, подаваемого для проветривания в забой, мг/м³.

Для расчета интенсивности пылеобразования G и интенсивности пылепоступления J в очистных забоях авторами [66] были получены формулы (2.2) и (2.3) соответственно:

$$G = \gamma B H_{II} v_K \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{k_1}{B H_{II} v_K} \sum_{i=1} \frac{V_p s_i v_i \cos \alpha}{h_i^{k_2} \cos(\alpha - \beta)} \right] \right\}, \text{ кг/с} \quad (2.2)$$

$$J = \frac{k_3}{B H_{II} v_K} \sum \frac{s_i^2 N_i m_i v_p^2 H_i \cos \alpha}{h_i^{k_2} \cos(\alpha - \beta)} (k_4^{v_B} + v_B^2 v_p), \text{ кг/с} \quad (2.3)$$

где γ – плотность угля, кг/м³; B – ширина захвата, м; H_{II} – вынимаемая мощность пласта, м; v_K – скорость подачи комбайна, м/с; V_p – скорость резания, м/с; s – сечение среза резца, м²; v – число одновременно работающих резцов; h – глубина резания, м; α – передний угол резца, градусы, β – угол трения угля о сталь, градусы; i – число групп резцов; m – число линий резания; v_B – скорость движения воздуха, м/с; k_1, k_2, k_3, k_4 – эмпирические коэффициенты, зависящие от конструктивных особенностей комбайнов (для комбайнов типа МК они равны соответственно 0,00339; 0,6; 687; 0,00442, а для комбайнов К-101 – 0,000245; 0,6; 11,5 и 5,375).

Установлено, что с увеличением скорости резания от 1 до 10 м/с масса пыли, выделяющейся при разрушении одной тонны угля, возрастает с 0,8 до 3,4-4,3 кг, а при увеличении скорости подачи комбайна с 0,01 до 0,12 м/с, наоборот, снижается с 4,2-4,6 до 0,8-1,4 кг.

На интенсивность пылеобразования оказывает воздействие число резцов, одновременно контактирующих с поверхностью горного массива, и их форма. Так, согласно результатам исследований ученых «ИГД имени А.А. Скочинского» использование тангенциальных долотчатых и конических резцов с уменьшенным углом резания позволяет уменьшить интенсивность пылеобразования в 1,5-2 раза. Запыленность воздуха сильно зависит и от параметров проветривания. Наиболее благоприятные условия достигаются при оптимальной скорости вентиляционной струи в лаве в пределах 1,7-2,2 м/с [66].

Формула (2.1) является относительно простой для использования, однако требует систематического контроля запыленности подаваемого воздуха, и в тоже время не учитывает скорость его движения, удаленность от источника пылеобразования, эффективность применяемых средств обеспыливания,

мощность добываемых пластов угля. Формулы (2.2-2.3) учитывают влияние на функцию огромного количества факторов, но рассчитаны для оценки интенсивности пылеобразования и интенсивности пылепоступления при использовании очистных комбайнов определенных типов, которые отличаются по своим характеристикам от комбайнов, применяемых в настоящее время на современных угольных шахтах.

К настоящему времени проведено большое количество теоретических и практических исследований пылевой динамики в горных выработках угольных шахт и предложено множество уравнений, описывающих процессы перемещения и осаждения как отдельных частиц пыли, так и всего пылевого облака [8, 9, 18, 55, 74, 81, 103].

Процессы изменения концентрации пыли по длине выработки рассмотрены в работах В.Н. Воронина [9], К.П. Медникова, М.И. Нецепляева [55, 57], А.И. Ксенофонтовой, А.С. Бурчакова [48] и других ученых.

Обобщенная формула для определения запыленности на заданном расстоянии от источника пылеобразования $C(x)$ приведена в работе [48]:

$$C(x) = C_j e^{-\frac{x}{R}(a+b)\frac{v_1}{v_{\text{возд}}}} + \dots + C_n e^{-\frac{x}{R}(a+b)\frac{v_n}{v_{\text{возд}}}}, \text{ мг/м}^3 \quad (2.4)$$

где C_j – начальная концентрация j -ой фракции пыли; x – расстояние от точки замера первоначальной концентрации пыли, м; R – гидравлический радиус выработки; a, b – эмпирические коэффициенты; v – скорость оседания частицы, м/с; $v_{\text{возд}}$ – скорость воздуха в выработке, м/с.

Главным недостатком приведенной формулы является невозможность расчета запыленности на некотором удалении от источника пылеобразования без знания исходной концентрации витающей пыли возле него.

К числу моделей, наиболее достоверно описывающих изменение концентрации пыли по длине горной выработки, можно отнести математическую модель, полученную С.Б. Романченко, Ю.Ф. Руденко, В.Н. Костеренко в

результате натурных исследований пылединамических процессов на шахтах Кузбасса и анализа предшествующих теоретических исследований в этой области:

$$C(x, v) = C_0 - \int_0^x \int_0^{d_{max}} (k_{t.o.} C_0 f(d_j) VST + \frac{M_x(d_j)}{\sigma_{d_j} \sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - L_{гор})^2}{\sigma_{d_j}^2}\right]) d d d x \quad (2.5)$$

где C_0 – начальная концентрация пыли, мг/м³, x – расстояние от источник пылеобразования до точки, в которой определяется концентрации пыли, м; d_{max} – максимальный диаметр частиц пыли, мкм; $k_{t.o.}$ – коэффициент турбулентного осаждения взвешенной пыли, м/с; $f(d_j)$ – плотность распределения частиц пыли размером d_j , %; d_j – диаметр частиц пыли, мкм; V – скорость воздуха в выработке, м/с; S – площадь поперечного сечения выработки, м²; T – время измерения, мин.; $M_x(d_j)$ – масса витающей пыли размером d_j в рассматриваемом сечении на расстоянии x от источника, мг; $L_{гор}$ – ожидаемая дальность полета частиц с диаметром d_j , м; σ_{d_j} – среднее квадратическое отклонение для частиц соответствующего диаметра; dd – дифференциал по переменной величине d [81].

Данную модель целесообразно использовать при наличии всесторонней, достоверной и оперативной информации относительно скорости воздушного потока, концентрации витающей пыли возле очистного комбайна и ее дисперсного состава. С учетом особенностей проведения пылевого контроля не на всех шахтах возможно получить указанные сведения.

В соответствии с Руководством по безопасности «Рекомендации по прогнозу и выбору мер, направленных на снижение запыленности рудничного воздуха в угольных шахтах» для оценки прогнозной запыленности рудничного воздуха в очистном забое рекомендуется использовать следующую формулу:

$$C_{оч.зab} = 1000 \frac{2 \cdot q_{nl} \cdot P_{оч} (0,07 \cdot v_{оч}^3 + 1,1 \cdot v_{оч}^2 - 3,1 \cdot v_{оч} + 3,5)}{Q_{оч}} (1 - \mathcal{E}_{оч}), \text{ мг/м}^3 \quad (2.6)$$

где q_{nl} – удельное пылевыделение, г/т; $P_{оч}$ – производительность очистного комбайна, т/мин; $v_{оч}$ – скорость воздуха в забое очистной выработки, м/с; $Q_{оч}$ – расход воздуха в очистном забое, м³/мин. $\mathcal{E}_{оч}$ – эффективность противопылевых

мероприятий в лаве, доля, $\mathcal{E}_{oc}=0,5-0,8$ при предварительном увлажнении пласта, $\mathcal{E}_{oc}=0,7-0,98$ при орошении [86].

Величина удельного пылевыведения рассчитывается после предварительного исследования пластовых проб угля в лабораторных условиях, включающих их дробление, ситовой анализ и измерение влажности, по следующей формуле:

$$q_{nl} = 150 \cdot a_{100} \cdot [(0,65 \cdot m_e + 0,07) \cdot 5,5 \cdot (\exp(-0,03 \cdot W))], \quad (2.7)$$

где a_{100} – выход класса 0-100 мкм по результатам ситового анализа, %; W – общая влага угля, %; m_e – вынимаемая мощность пласта, м.

Стоит отметить, что данные формулы еще больше учитывают физико-механические особенности углей, влияющие на характер их разрушения и интенсивность пылеобразования. Однако, для оценки прогнозной запыленности в условиях отработки конкретного шахтопласта все же нужно сначала определить удельное пылевыведение, а для этого провести отбор пластовых проб, их разделку и анализ, что требует дополнительных затрат времени. Также при определении величины удельного пылевыведения существует некоторая погрешность, связанная с методикой проведения самого анализа, так как есть различие в характере разрушения угля в лабораторных условиях и шахтных условиях в момент комбайновой выемки. Также не совсем ясно, введенный показатель эффективности мероприятий по борьбе с пылью учитывает или нет различие в скорости смачивания угольной пыли различного состава, возможность использования различных типов шахтных смачивателей с разной смачивающей способностью и с разной концентрацией рабочего раствора.

При оценке дисперсного состава пылевого аэрозоля используются понятия интегральной $f(d)$ и дифференциальной $F(d)$ функций распределения или функции распределения и плотности распределения [8], которые в большинстве случаев подчиняются нормальному закону распределения:

$$f(d) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(d-m)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.8)$$

где σ – среднее квадратическое отклонение; d – диаметр частиц пыли; m – параметр нормального закона распределения, соответствующий $d(50)$.

Анализ работ [78-84] показал, что при оценке дисперсного состава основное внимание уделяется построению гранулометрических кривых, расчету основных численных характеристик (математического ожидания $M[D]$, моды $M_d[D]$, медианы $Med [D]$ или $d(50)$, среднего квадратического отклонения σ , дисперсии $D [D]$ или σ^2) и сравнению абсолютных значений содержания отдельных фракций в аэрозоле при изменении различных факторов.

В работе Г.А. Позднякова, Б.Ф. Кирина [66] отмечается, что на угольных шахтах Восточного Донбасса доля частиц пыли крупностью менее 10 мкм в пылевом аэрозоле очистных забоев составляет от 80 до 90 %. На шахтах Кузбасса доля тонких фракций размером менее 10 мкм при выемке угля достигает 93-99 %.

Согласно исследованиям В.В. Соболева содержание пыли респираторной фракции в воздухе на рабочем месте машиниста комбайна в очистном забое на шахте «Есаульская-Н» при добыче 5000 тонн угля в сутки составляет 85,6 %, на месте машиниста крепи – 92,2 %. На шахте «Березовская» при нагрузке на забой 1200 тонн в сутки доля респираторных частиц составляла 30,7 % и 35,0 % соответственно [97]. Из результатов исследований, проведенных С.И. Голоскоковым на шахтах «Полосухинская» и «Абашевская», содержание фракции -10 мкм в лавах варьируется от 44,8 до 52,8 % и от 46,8 до 82,6 % соответственно [15].

Таким образом, в среднем концентрация респираторных частиц в воздухе очистных забоев составляет более 50 %. С повышением нагрузок на забой доля этих частиц увеличивается. Дисперсный состав пылевого аэрозоля динамично изменяется по длине горных выработок и зависит от большого количества факторов. Ввиду отсутствия математических моделей, которые бы описывали взаимосвязь содержания тонкодисперсных фракций пыли в воздухе очистных забоев с конкретными условиями ведения горных работ, получение регрессионного уравнения, позволяющего прогнозировать изменение дисперсного состава взвешенной пыли в зависимости от влияния наиболее важных факторов является весьма актуальным.

2.6 Анализ факторов, влияющих на запыленность и содержание тонкодисперсных частиц в пылевом аэрозоле

Среди факторов, влияющих на запыленность воздуха и дисперсный состав пылевого аэрозоля в процессе ведения очистных работ, можно выделить те, которые обуславливают различие в характере разрушения угля при его выемке, влияющем на количество образующейся пыли различных фракций, те, которые влияют на скорость перехода пылинок во взвешенное состояние, и те, которые определяют скорость смачивания витающих частиц при орошении и таким образом, отражаются на эффективности пылеподавления. К первой группе факторов относятся крепость угля, высота его падения при отделении от массива, пропорциональная вынимаемой мощности пласта, частота вращения исполнительного органа комбайна и скорость подачи, взаимосвязанные с его производительностью. Во вторую группу факторов входят скорость движения воздуха, конструктивные особенности комбайна (например, диаметр шнека, количество и форма резцов) и режим его работы, влажность угля. Третью группу составляют такие факторы, как тип используемого шахтного смачивателя в процессе орошения и концентрация его рабочего раствора, время смачивания угольной пыли, зависящее от свойств смачивателя и особенностей петрографического и химического состава [24, 44]. Также фактическая пылевая обстановка в конкретном месте очистного забоя очень сильно зависит от исправности и функционирования средств обеспыливания, в частности нормальной работы форсунок на комбайне и секционного орошения, от удаленности расположения источника пылеобразования по отношению к сопряжению воздухоподающего штрека и лавы, на котором скорость воздуха, как правило, максимальна по сравнению с остальной частью лавы и совпадения направления движения комбайна с направлением воздушной струи. Для анализа полученных результатов исследований запыленности и дисперсного состава пылевого аэрозоля вышерассмотренных шахт АО «СУЭК-Кузбасс» все основные фактические параметры и условия проведения экспериментов были сведены в таблицу 2.14.

Таблица 2.14 – Условия проведения замеров запыленности и отбора проб витающей пыли в очистных забоях шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Место проведения замеров	Мощность пласта, м	Коэффициент крепости угля, f	Влажность угля, W^r_t , %	Зольность угля, $A^d_{экс}$, %	Содержание Al_2O_3 в золе, $\beta_{Al_2O_3}$, %	Содержание SiO_2 в золе, β_{SiO_2} , %	Содержание инертинита I , %	Производительность комбайна, P , т/мин.	Нагрузка на забой, Q , т/ч	Время работы комбайна, T , мин./сут.	Скорость воздуха, v , м/с	Марка угля	Тип комбайна
Шахта им. А.Д. Рубана, пласт: Полысаевский-2 лава: 812	4,70	2,5	8,5	12,0	16,6	60,4	8,0	11,99-12,15	719,1-728,7	863,0	1,15-1,38	Д	SL-500
Шахта Талдинская-Западная-2, пласт: 70 лава: 70-10	4,81	1,8	11,9	13,0	23,4	60,9	15,0	14,70-14,80	882,1-888,0	617,0	0,79-1,11	Д	SL-500
Шахта им. В.Д. Ялевского, пласт: 52 лава: 52-13	4,34	2,5	9,0	13,5	25,6	61,6	15,6	20,71-20,82	1242,5-1249,0	1030,0	2,10-3,54	ДГ	SL-500
Шахта им. С.М.Кирова, пласт: Болдыревский лава: 24-60	2,55	1,5	4,11	35,4	20,5	63,7	5,0	14,19-14,25	851,1-854,8	890,0	3,67	Г	Joy 7 LS-20

Для проведения корреляционно-регрессионного анализа и построения зависимости типа $y=f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, где в качестве y рассматривается концентрация общей массы витающей пыли ($\text{мг}/\text{м}^3$) либо только доля тонкодисперсных частиц крупностью от 0,1 до 35 мкм (%), количество факторов x_1, x_2, \dots, x_n , соответствующих числу параметров, приведенных в столбцах таблицы, является довольно большим и все попытки их учесть оборачивались неадекватностью получаемой модели. Обычно, количество факторов должно превышать в 5-6 раз число исходных значений наблюдений (замеров) и, как правило, большинство регрессионных моделей содержит до 5 факторов. Поэтому, на первоначальном этапе были отклонены факторы, которые не оказывали значимого влияния на функцию в пределах их варьирования, измеренных значений запыленности и доли тонкодисперсных фракций в аэрозоле.

Для построения первой линейной модели – зависимости концентрации витающей пыли от ряда факторов были приняты следующие исходные данные (таблица 2.15), где $y (C)$ – фактическая концентрация пыли в месте замера, $\text{мг}/\text{м}^3$; $x_1 (f)$ – коэффициент крепости угля по шкале проф. М.М. Протождяконова; $x_2 (t)$ – время смачивания мелкодисперсных частиц угля, сек.; $x_3 (m)$ – вынимаемая мощность пласта, м; $x_4 (P)$ – производительность комбайна, т/мин.; $x_5 (R)$ – расстояние от комбайна до точки замера концентрации пыли, м.

Значения параметра $x_2 (t)$ были получены по результатам лабораторных исследований смачиваемости угольной пыли различных шахтопластов 0,05-% раствором смачивателя «Эльф-М», проведенными на лабораторной базе Горного университета. Подробно результаты исследований в этом направлении изложены в 3-ей главе диссертационной работы. Значения $x_4 (R)$ соответствуют следующим замерным точкам: 0,2 м – на месте машиниста комбайна; 5,0 м – на месте машиниста крепи; 15 м – в 10-15 м от комбайна.

Для оценки тесноты связи между запыленностью и рассматриваемыми факторами и была проведена корреляционная обработка входных данных, результаты которой приведены в таблице 2.16.

Таблица 2.15 – Входные данные для построения 1-ой регрессионной модели

№ замера	y	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
	C	f	t	m	P	R
1	191,67	2,5	56	4,70	12,05	0,2
2	183,33	2,5	53	4,70	12,03	0,2
3	208,33	2,5	56	4,70	12,15	0,2
4	187,50	1,8	37	4,81	14,75	0,2
5	183,46	1,8	34	4,81	14,79	0,2
6	182,19	1,8	34	4,81	14,77	0,2
7	223,00	2,5	50	4,34	20,75	0,2
8	215,70	2,5	50	4,34	20,72	0,2
9	226,00	2,5	67	4,34	20,80	0,2
10	57,14	1,5	49	2,55	14,25	0,2
11	37,29	1,5	51	2,55	14,19	0,2
12	48,57	1,5	48	2,55	14,21	0,2
13	141,67	2,5	56	4,70	12,04	5,0
14	133,33	2,5	53	4,70	11,99	5,0
15	141,67	2,5	56	4,70	12,05	5,0
16	100,00	1,8	37	4,81	14,75	5,0
17	75,00	1,8	34	4,81	14,73	5,0
18	125,00	1,8	34	4,81	14,80	5,0
19	200,00	2,5	50	4,34	20,76	5,0
20	192,00	2,5	50	4,34	20,71	5,0
21	204,00	2,5	67	4,34	20,79	5,0
22	29,29	1,5	49	2,55	14,20	5,0
23	22,86	1,5	51	2,55	14,20	5,0
24	31,43	1,5	48	2,55	14,20	5,0
25	83,33	2,5	56	4,70	12,06	15,0
26	75,00	2,5	53	4,70	11,99	15,0
27	91,67	2,5	56	4,70	12,12	15,0
28	33,33	1,8	37	4,81	14,76	15,0
29	16,67	1,8	34	4,81	14,80	15,0
30	25,00	1,8	34	4,81	14,77	15,0
31	155,30	2,5	50	4,34	20,67	15,0
32	167,10	2,5	50	4,34	20,71	15,0
33	194,20	2,5	67	4,34	20,82	15,0
34	44,00	1,5	49	2,55	14,3	15,0
35	38,50	1,5	51	2,55	14,2	15,0
36	39,32	1,5	48	2,55	14,2	15,0

Таблица 2.16 – Результаты корреляционного анализа данных для 1-ой регрессионной модели

	<i>C</i>	<i>f</i>	<i>t</i>	<i>m</i>	<i>P</i>	<i>R</i>
<i>C</i>	1					
<i>f</i>	0,738560942	1				
<i>t</i>	0,341425805	0,554777651	1			
<i>m</i>	0,553233181	0,659243121	-0,154980309	1		
<i>P</i>	0,499294222	0,301663325	0,203365997	0,056259298	1	
<i>R</i>	-0,451980229	5,48147E-17	1,20463E-17	-1,75591E-17	-0,000111777	1

Согласно шкале Чеддока между всеми рассматриваемыми факторами и функцией существует связь – полученные коэффициенты корреляции более 0,3. Отмечается сильная связь концентрации пыли с крепостью угля, влияющего на характер его разрушения – коэффициент корреляции составил $r=0,739$. На достаточно хорошую взаимосвязь функции и рассматриваемых факторов указывает величина корреляционного отношения, равная $\eta=0,914$. Мультиколлинеарность факторов отсутствует, т.к. не один из коэффициентов парной корреляции не превышает 0,7 [35].

В результате последующей регрессионной обработки были получены коэффициенты для уравнения множественной линейной регрессии (таблица 2.17).

Таблица 2.17 – Результаты расчета коэффициентов 1-ой регрессионной модели

Коэффициенты	Значения коэффициентов	Погрешности коэффициентов	Коэффициент Стьюдента	Вероятность незначимости коэффициента	Доверительные интервалы коэффициентов с вероятностью 90 %	
					Нижний диапазон	Верхний диапазон
a_0 (<i>y</i> -пересечение)	-232,7074	56,7153	-4,1031	0,0003	-328,968	-136,447
a_1 (<i>f</i>)	57,8798	34,0419	1,7003	0,0994	0,101866	115,6577
a_2 (<i>t</i>)	0,9407	0,1692	0,8045	0,0274	1,04382	2,925156
a_3 (<i>m</i>)	24,9179	13,4559	1,8518	0,0739	2,079766	47,75602
a_4 (<i>P</i>)	7,7271	1,6646	4,6421	0,0001	4,901869	10,55226
a_5 (<i>R</i>)	-5,2307	0,7933	-6,5932	0,0000	-6,57721	-3,88417

Знак коэффициентов говорит о виде связи между функцией и факторами. В нашем случае, большинство коэффициентов положительные за исключением параметра расстояния. Это значит, что запыленность возрастает с повышением крепости угля, мощности отрабатываемого пласта, производительности комбайна

и времени смачивания витающей пыли, и наоборот, уменьшается с увеличением расстояния от комбайна. Рассчитанные коэффициенты значимы, т.к. превышают по абсолютным значениям свои погрешности. Нулевой коэффициент (a_0) и коэффициенты a_4 и a_5 значимы с вероятностью 95 %, остальные – с вероятностью 90 %. С учетом рассчитанных коэффициентов получим регрессионную модель для прогноза запыленности в очистных забоях при отработке мощных пластов и пластов средней мощности:

$$C = -232,71 + 57,88 \cdot f + 0,94 \cdot t + 24,92 \cdot m + 7,73 \cdot P - 5,23 \cdot R \quad (2.9)$$

где C – фактическая концентрация пыли в месте замера, мг/м³; f – коэффициент крепости угля по шкале проф. М.М. Протоdjeяконова; t – время смачивания мелкодисперсных частиц угля, сек.; m – вынимаемая мощность пласта, м; P – производительность комбайна, т/мин.; R – расстояние от комбайна до точки замера концентрации пыли, м.

Модель является адекватной. Критерий Фишера равен $F=36,565$. Вероятность неадекватности модели по Фишеру $6,865 \cdot 10^{-9}$ %. Множественный коэффициент корреляции $R=0,927$, коэффициент детерминации $R^2=0,856$. Последующая регрессионная обработка данных с целью уточнения вида зависимости между запыленностью и указанными факторами в направлении от линейной модели к нелинейной, определяемой как полиномами различных степеней, так степенными и логарифмическими функциями, не дало положительного результата, так что, в данных условиях полученная модель линейной регрессии наиболее объективно описывает процесс пылевой динамики.

При построении математической модели прогноза концентрации тонкодисперсных частиц в очистных забоях наиболее значимыми факторами оказались коэффициент крепости и влажность угля, интенсивность ведения работ, определяемая производительностью комбайна и расстояние от комбайна. Исходные данные для построения прогнозной модели по торакальной фракции приведены в таблице 2.18.

Таблица 2.18 – Входные данные для построения 2-ой регрессионной модели

№ замера	y	x_1	x_2	x_3	x_4
	$\gamma_{0,1-35}$	f	W_t^r	P	R
1	97,9	2,5	8,7	12,05	0,2
2	98,3	2,5	8,7	12,03	0,2
3	98,1	2,5	8,7	12,15	0,2
4	95,6	2,5	8,7	12,04	5,0
5	95,4	2,5	8,7	11,99	5,0
6	96,0	2,5	8,7	12,05	5,0
7	78,5	2,5	8,7	12,06	15,0
8	78,3	2,5	8,7	11,99	15,0
9	77,8	2,5	8,7	12,12	15,0
10	91,8	1,8	11,9	14,75	0,2
11	92,0	1,8	11,9	14,79	0,2
12	91,5	1,8	11,9	14,77	0,2
13	90,1	1,8	11,9	14,75	5,0
14	88,7	1,8	11,9	14,73	5,0
15	88,5	1,8	11,9	14,80	5,0
16	84,2	1,8	11,9	14,76	15,0
17	86,1	1,8	11,9	14,80	15,0
18	83,7	1,8	11,9	14,77	15,0
19	96,1	2,5	9,6	20,75	0,2
20	97,4	2,5	9,6	20,72	0,2
21	98,7	2,5	9,6	20,80	0,2
22	97,4	2,5	9,6	20,76	5,0
23	95,8	2,5	9,6	20,71	5,0
24	96,4	2,5	9,6	20,79	5,0
25	90,3	2,5	9,6	20,67	15,0
26	88,7	2,5	9,6	20,71	15,0
27	90,1	2,5	9,6	20,82	15,0
28	97,0	1,5	3,4	14,25	0,2
29	96,2	1,5	3,4	14,19	0,2
30	96,6	1,5	3,4	14,21	0,2
31	89,3	1,5	3,4	14,20	5,0
32	90,2	1,5	3,4	14,20	5,0
33	88,6	1,5	3,4	14,20	5,0
34	74,6	1,5	3,4	14,30	15,0
35	76,3	1,5	3,4	14,20	15,0
36	75,8	1,5	3,4	14,20	15,0

В качестве основной модели принята многофакторная линейная модель, в которой $y(\gamma_{0,1-35})$ – содержание в пылевом аэрозоле пыли торакальной фракции, %, $x_1(f)$ – коэффициент крепости угля; $x_2(W^r_t)$ – общая влага угля в рабочем состоянии, %; $x_3(P)$ – производительность комбайна, т/мин.; $x_4(R)$ – расстояние от комбайна до точки замера концентрации пыли, м.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа (таблицы 2.19 и 2.20) подтверждают значимое влияние выбранных факторов на функцию и отсутствие мультиколлинеарности.

Таблица 2.19 – Результаты корреляционного анализа данных для 2-ой регрессионной модели

	$\gamma_{0,1-35}$	f	W^r_t	P	R
$\gamma_{0,1-35}$	1				
F	0,335898429	1			
W^r_t	-0,16207381	0,467409017	1		
P	0,282877725	0,301663325	0,22710291	1	
R	-0,821077525	1,82716E-17	2,05637E-17	-0,000111777	1

Таблица 2.20 – Результаты расчета коэффициентов 2-ой регрессионной модели

Коэффициенты	Значения коэффициентов	Погрешности коэффициентов	Коэффициент Стьюдента	Вероятность незначимости коэффициента	Доверительные интервалы коэффициентов с вероятностью 95 %	
					Нижний диапазон	Верхний диапазон
a_0 (y -пересечение)	80,3991	3,3135	24,2641	0,0000	73,641132	87,156986
$a_1(f)$	4,6495	1,4426	3,2231	0,0030	1,707401	7,591663
$a_2(W^r_t)$	-0,0363	0,0987	-0,1825	0,0856	-0,441476	-0,368940
$a_3(P)$	0,4495	0,1779	2,5271	0,0168	0,086738	0,812311
$a_4(R)$	-0,9599	0,0882	-10,8785	0,0000	-1,139916	-0,779973

Полученная модель имеет следующий вид:

$$\gamma_{0,1-35} = 80,4 + 4,65 \cdot f - 0,04 \cdot W^r_t + 0,45 \cdot P - 0,96 \cdot R \quad (2.10)$$

где $\gamma_{0,1-35}$ – содержание в пылевом аэрозоле пыли торакальной фракции, %; f – коэффициент крепости угля; W^r_t – общая влага угля в рабочем состоянии, %; P – производительность комбайна, т/мин.; R – расстояние от комбайна до точки замера концентрации пыли, м.

Модель прошла проверку на адекватность. Вероятность незначимости модели по Фишеру $2,929 \cdot 10^{-9} \%$. Коэффициент корреляции $R=0,907$, коэффициент детерминации $R^2=0,823$.

Для оценки содержания тонкодисперсных торакальных фракций непосредственно возле комбайна на рабочем месте машиниста следует учитывать и скорость смачивания пылевидных частиц. С этой целью предлагается использовать следующее уравнение:

$$\gamma_{0,1-35} = 88,47 + 3,66 \cdot f - 0,53 \cdot W_t^r + 0,03 \cdot P - 0,1 \cdot t \quad (2.11)$$

Обозначения здесь и в последующих уравнениях этого раздела такие же как и формулах (2.9-2.10).

Модель значима. Вероятность значимости модели по Фишеру 99,9991 %. Коэффициент корреляции $R=0,988$, коэффициент детерминации $R^2=0,976$. Результаты корреляционно-регрессионного анализа и проверки коэффициентов модели на значимость приведены в таблицах 2.21 и 2.22.

Таблица 2.21 – Результаты корреляционного анализа данных для 3-ой регрессионной модели

	$\gamma_{0,1-35}$	f	W_t^r	P	t
$\gamma_{0,1-35}$	1				
F	0,516875878	1			
W_t^r	-0,488826977	0,467409017	1		
P	0,76593469	0,304277687	0,227822837	1	
T	0,931774837	0,554777651	-0,352756456	0,204433332	1

Таблица 2.22 – Результаты расчета коэффициентов 3-ой регрессионной модели

Коэффициенты	Значения коэффициентов	Погрешности коэффициентов	Коэффициент Стьюдента	Вероятность незначимости коэффициента	Доверительные интервалы коэффициентов с вероятностью 95 %	
					Нижний диапазон	Верхний диапазон
a_0 (y -пересечение)	88,4693	1,2373	71,5026	0,0000	85,5436	91,3950
a_1 (f)	3,6628	0,7784	4,7053	0,0022	1,8220	5,5035
a_2 (W_t^r)	-0,5280	0,1002	-5,2703	0,0012	-0,7649	-0,2911
a_3 (P)	0,0334	0,0299	-0,6701	0,5243	0,1514	0,0845
a_4 (t)	0,0995	0,0355	2,8030	0,0264	0,0156	0,1834

Для прогноза содержания респираторных частиц в воздухе очистных забоев получены также линейные уравнения множественной регрессии (2.12) и (2.13).

$$\gamma_{0,1-10} = 50,18 + 12,35 \cdot f - 0,43 \cdot W_t^r + 0,83 \cdot P - 1,58 \cdot R \quad (2.12)$$

$$\gamma_{0,1-10} = 65,2 + 16,51 \cdot f - 1,85 \cdot W_t^r + 0,34 \cdot P - 0,1 \cdot t \quad (2.13)$$

Уравнение (2.12) предназначено для оценки динамики респираторной фракции пыли по мере увеличения расстояния от источника пылеобразования, уравнение (2.13) – для оценки той фракции, но возле комбайна на рабочем месте машиниста комбайна.

Результаты корреляционно-регрессионного анализа и проверки коэффициентов моделей на значимость приведены в таблицах 2.23-2.26.

Таблица 2.23 – Результаты корреляционного анализа данных для 4-ой регрессионной модели (формула 2.12)

	$\gamma_{0,1-10}$	f	W_t^r	P	R
$\gamma_{0,1-10}$	1				
f	0,457058604	1			
W_t^r	-0,147328354	0,467409017	1		
P	0,327451603	0,301663325	0,22710291	1	
R	-0,793583556	1,82716E-17	2,05637E-17	-0,000111777	1

Таблица 2.24 – Результаты расчета коэффициентов 4-ой регрессионной модели

Коэффициенты	Значения коэффициентов	Погрешности коэффициентов	Коэффициент Стьюдента	Вероятность незначимости коэффициента	Доверительные интервалы коэффициентов с вероятностью 95 %	
					Нижний диапазон	Верхний диапазон
a_0 (y -пересечение)	50,1789	4,4935	11,1669	0,0000	41,0143	59,3435
a_1 (f)	12,3493	1,9563	6,3126	0,0000	8,3594	16,3392
a_2 (W_t^r)	-0,4282	0,2694	-1,5893	0,1221	-0,9777	0,1213
a_3 (P)	0,8303	0,2412	3,4421	0,0017	0,3383	1,3223
a_4 (R)	-1,5754	0,1197	-13,1645	0,0000	-1,8194	-1,3313

Таблица 2.25 – Результаты корреляционного анализа данных для 5-ой регрессионной модели

	$\gamma_{0,1-10}$	f	W^*_t	P	t
$\gamma_{0,1-10}$	1				
f	0,690868087	1			
W^*_t	-0,287023892	0,467409017	1		
P	0,285850658	0,304277687	0,227822837	1	
t	0,846353472	0,554777651	-0,352756456	0,204433332	1

Таблица 2.26 – Результаты расчета коэффициентов 5-ой регрессионной модели

Коэффициенты	Значения коэффициентов	Погрешности коэффициентов	Коэффициент Стьюдента	Вероятность незначимости коэффициента	Доверительные интервалы коэффициентов с вероятностью 95 %	
					Нижний диапазон	Верхний диапазон
a_0 (y -пересечение)	65,2029	2,7571	23,6492	0,0000	58,6834	71,7224
a_1 (f)	16,5135	1,7346	9,5199	0,0000	12,4118	20,6152
a_2 (W^*_t)	-1,8545	0,2232	-8,3071	0,0001	-2,3824	-1,3266
a_3 (P)	0,3432	0,1111	3,0877	0,0176	0,0804	0,6060
a_4 (t)	-0,1036	0,0791	-1,3106	0,2313	-0,2906	0,0833

Все коэффициенты в уравнении (2.12) за исключением коэффициента $a_2(W^*_t)$, вероятность значимости которого 87 %, значимы с вероятностью 95 %. В уравнении (2.13) коэффициент $a_4(t)$ значим при вероятности 76 %, остальные – при 95 % вероятности.

2.7 Разработка рекомендаций по учету содержания тонкодисперсных частиц в пылевом аэрозоле при оценке пылевых нагрузок на работников

Анализ результатов специальной оценки условий труда и экспериментальных исследований пылевой обстановки в очистных и подготовительных забоях угольных шахт показал, что на одних и тех же рабочих местах (например, машиниста комбайна, машиниста крепи) условия труда отличаются не только запыленностью, но и дисперсным составом пылевого аэрозоля. Даже если сравнивать рабочие места в забоях различных шахт с примерно одинаковой концентрацией витающей пыли, то очевидно, что доля пыли тонкодисперсных фракций в воздухе все равно заметно отличается. Также, протекающие в горных выработках пылединамические процессы обуславливают

изменение не только запыленности по длине выработок, но и дифференциацию в процентном соотношении пылевых тонкодисперсных фракций. Это, в свою очередь, влияет на различие в скорости развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии среди работников с одинаковым классом условий труда и допустимый стаж работы.

Применяемые в настоящее время подходы к оценке пылевой обстановки на рабочих местах не учитывают специфику дисперсного состава пылевого аэрозоля. О необходимости корректировки методики оценки пылевой нагрузки на органы дыхания работников свидетельствуют показатели профессиональной заболеваемости, обусловленной воздействием пылевого аэрозоля, которые по-прежнему остаются на достаточно высоком уровне.

В первой главе диссертации были рассмотрены современные подходы к вопросу оценки пылевой нагрузки и профессионального риска, обусловленного воздействием на человека АПФД.

Одним из основных недостатков предлагаемых в работах [21, 47, 89] решений по совершенствованию методики расчета пылевых нагрузок и профессионального риска заболеваний органов дыхания является отсутствие взаимосвязи предлагаемых расчетных коэффициентов, учитывающих дисперсный состав витающей пыли, с риском нанесения вреда здоровью и смертностью от заболеваний пылевой этиологии.

Так, например, приведенный в формуле (1.4) коэффициент K_{gp} характеризует только изменение содержания мелкодисперсной пыли в атмосфере разрезов, связанное с воздействием колебаний температуры воздуха в течение года. Из формулы (1.5) не совсем ясно почему коэффициент $K_{m.f}$ доли тонкой фракции уменьшается с ростом запыленности. При более тщательном рассмотрении формулы (1.6) для расчета интегрального показателя риска заболевания органов дыхания, связанного с воздействием АПФД, не удалось найти подтверждения взаимосвязи коэффициента K_2 с особенностями дисперсного состава. По факту, его величина зависит только от типа пыли и

кратности превышения фактической запыленности относительно ПДК (таблица 2.27) [89].

Таблица 2.27 – Значение коэффициента K_2 для формулы (1.6)

Тип пыли (содержание SiO_2)	Значения K_2 при кратности превышения ПДК		
	1.1-2.0 ПДК	2.1-5.0 ПДК	5.1-10.0 ПДК
Породная (10-70 %)	2.3	2.3	2.3
Углеродная (5-10 %)	2.3	2.3-1.9	1.9-1.1
Антрацитовая (до 5 %)	2.3-2.0	2.0-1.3	1.3-0.75
Каменноугольная (до 5 %)	2.2-1.6	1.6-0.8	0.8-0.47

С учетом вышесказанного, расчет пылевой нагрузки ($ПН$) предлагается проводить по формуле:

$$ПН = C \cdot N \cdot T \cdot Q \cdot D, \text{ мг/м}^3 \quad (2.14)$$

где C – фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника, мг/м^3 ; N – число рабочих смен, отработанных в календарном году в условиях воздействия АПФД; T – стаж работы, лет; Q – объем легочной вентиляции за смену, м^3 , величина которого зависит от категории тяжести работ D – коэффициент, учитывающий влияние пыли респираторной фракции и зависящий от ее массовой концентрации в пылевом аэрозоле [43, 107, 108, 128].

Наиболее сложным вопросом является определение значений коэффициента D , входящего в формулу (2.14).

Как отмечалось ранее, именно тонкодисперсная пыль респираторной фракции приводит к развитию наиболее тяжелых легочных заболеваний (силикозов, антракозов и др.). Зарубежом, в частности, на шахтах США для предотвращения легочных заболеваний контролируют в основном концентрацию респираторной пыли, которая не должна превышать 1 мг/м^3 . Из анализа результатов исследований по влиянию различных факторов на скорость и тяжесть развития профессиональных заболеваний органов дыхания среди шахтеров, проведенных на шахтах США и Великобритании в период с 1967 по 2010 гг., следует, что при повышении концентрации угольной пыли респираторной

фракции на 1 мг/м^3 вероятность развития прогрессивного массивного фиброза и пневмокониоза возрастает на 0,6-1 % [134].

В связи с этим, для расчета коэффициента D предлагается использовать следующую формулу:

$$D = 1 + \frac{C \cdot (\gamma_{0,1-10} - 30)}{100 \cdot \text{ПДК}_{\text{р.п.}}} \cdot \frac{R}{100}, \quad (2.15)$$

где C – фактическая среднесменная концентрация пыли в зоне дыхания работника, мг/м^3 ; $\gamma_{0,1-10}$ – фактическое содержание в пылевом аэрозоле пыли респирабельной фракции, %; $\text{ПДК}_{\text{р.п.}}$ – предельно допустимая концентрация респирабельной пыли, $\text{ПДК}_{\text{р.п.}} = 1 \text{ мг/м}^3$ (принята на основе зарубежного опыта); R – вероятность развития легочных заболеваний при каждом повышении концентрации угольной пыли респирабельной фракции на 1 мг/м^3 , %, $R = 0,6$ %.

Следует немного пояснить приведенную формулу. В числителе в скобках число «30» означает пороговое значение содержания респирабельной пыли в аэрозоле. В большинстве случаев на угольных шахтах содержится в аэрозоле не менее 30 % респирабельной пыли, т.е. такое количество ее содержится всегда. Разность в скобках – это превышение доли тонкой фракции относительно порогового значения. Произведение концентрации всей массы пыли на разность в числителе представляет собой превышение доли тонкодисперсной пыли, выражаемое в мг/м^3 . Вся первая дробь характеризует кратность превышения фактического содержания респирабельной пыли над принятым значением ПДК. Произведение дробей по факту говорит о том, насколько повысится вероятность развития легочного заболевания у работника при вдыхании пыли с повышенным содержанием респирабельной фракции. Т.к. эта вероятность не может быть больше единицы, а значение коэффициента D не может быть меньше единицы то введен дополнительно коэффициент, равный одному.

При концентрации витающей пыли от 1 до 250 мг/м^3 и варьировании доли респирабельной фракции от 30 до 95 % коэффициент D принимает значения от 1,0 до 1,98 (таблица 2.28).

Таблица 2.28 – Некоторые рассчитанные значения коэффициента D

$C, \text{мг/м}^3$	$\gamma, \%$	D	$C, \text{мг/м}^3$	$\gamma, \%$	D	$C, \text{мг/м}^3$	$\gamma, \%$	D
1	95	1,00	100	55	1,15	200	80	1,60
10	35	1,00	100	60	1,18	200	85	1,66
10	40	1,01	100	65	1,21	200	90	1,72
10	45	1,01	100	70	1,24	200	95	1,78
10	50	1,01	100	75	1,27	250	30	1,00
10	55	1,02	100	80	1,30	250	35	1,08
10	60	1,02	100	85	1,33	250	40	1,15
10	65	1,02	100	90	1,36	250	45	1,23
10	70	1,02	100	95	1,39	250	50	1,30
10	75	1,03	200	35	1,06	250	55	1,38
10	80	1,03	200	40	1,12	250	60	1,45
10	85	1,03	200	45	1,18	250	65	1,53
10	90	1,04	200	50	1,24	250	70	1,60
10	95	1,04	200	55	1,30	250	75	1,68
100	35	1,03	200	60	1,36	250	80	1,75
100	40	1,06	200	65	1,42	250	85	1,83
100	45	1,09	200	70	1,48	250	90	1,90
100	50	1,12	200	75	1,54	250	95	1,98

Использование рекомендуемой формулы расчета пылевой нагрузки на органы дыхания работников с коэффициентом D на примере машиниста комбайна в очистных забоях 4-х шахт показывает значительное отличие полученных результатов от данных, рассчитанных по стандартной методике (таблица 2.29).

Таблица 2.29 – Сравнение результатов расчета ПН на рабочем месте машиниста очистного комбайна по стандартной и рекомендуемой формулам

Шахта	Концентрация пыли, мг/м^3	Среднее содержание респиральной пыли, $\gamma_{0,1-10}, \%$	D	ПН _{1год} (стандарт. формула), г	ПН _{1год} (рекоменд. формула), г	Δ ПН _{1год} , г	ПН _{25лет} (стандарт. формула), г	ПН _{лет} (рекоменд. формула), г	Δ ПН _{25лет} , г
Имени А.Д. Рубана	194,4	88,8	1,69	482	813,0	331	12 055	20 325	8 270
Талдинская -Западная-2	184,38	74,3	1,49	457	681	224	11 431	17 034	5 602
Имени В.Д. Ялевского	221,57	90,0	1,80	550	988	438	13 737	24 695	10 958
Имени С.М.Кирова	47,67	83,4	1,15	118	136	18	2 955	3 407	452

Пылевая нагрузка рассчитывалась за один год и 25-летний стаж работы при количестве рабочих смен в году – 248. Объем легочной вентиляции принят равным 10 м^3 . Стоит отметить, что разница в рассчитанных значениях пылевой нагрузки тем выше, чем больше доля тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле и запыленность.

Если учитывать предлагаемый коэффициент при расчете допустимого стажа работы, то разница в полученных значениях будет также очевидной. Например, для условий шахты им. С.М. Кирова применительно к приведенным значениям запыленности и ПДК= 1 мг/м^3 допустимый стаж работы при расчете по стандартной и предлагаемой методике соответственно составит 6,3 и 5,5 месяцев. Для условий шахты Талдинская-Западная-2 – 1,6 и 1,1 месяцев.

Таким образом, предлагаемая формула расчета пылевой нагрузки позволяет учитывать вредное воздействие на работников пыли респирабельной фракции и различие в ее концентрации на рабочих местах. Это, в свою очередь, позволит повысить объективность оценки условий труда и максимально допустимого рабочего стажа при воздействии АПФД, а также своевременно принять мероприятия по предупреждению у работников заболеваний пылевой этиологии.

2.8 Выводы по второй главе

1. С ростом нагрузки на комплексный механизированный забой, которая с 2000 г. по настоящее время увеличилась примерно в 3,5 раза, и внедрением высокопроизводительных комбайнов со скоростью подачи до 51 м/мин. и частотой вращения режущего шнека до 56 об/мин., отмечается увеличение доли тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле очистных забоев. В связи с этим рекомендуется проводить измерение не только концентрации общей массы витающей пыли, но и содержания отдельных респирабельных и торакальных фракций.

2. Анализ горно-геологических условий залегания шахтопластов АО «СУЭК-Кузбасс», показал, что отрабатываемые пласты значительно отличаются между собой вынимаемой мощностью, крепостью, влажностью, зольностью и содержанием диоксида кремния, что предопределяет их различие в пылеобразующей способности и формировании запыленности в очистных забоях и требует адресного подхода при обосновании противопылевых мероприятий, средств обеспыливания, параметров и режима их функционирования.

3. Оценка эффективности применяемых на угольных шахтах методов, способов и средств обеспечения снижения запыленности, показала, что заявленная эффективность пылеподавления 93-99 % при использовании смачивателя «Эльф-М» не достигается в реальных условиях.

4. На всех шахтах ведется расчет удельного пылевыделения и прогнозной запыленности, однако ни на этапе выбора противопылевых мероприятий, ни при обосновании режимов гидрообеспыливания или корректировке интенсивности ведения очистных работ они не учитываются.

5. Анализ результатов натуральных измерений запыленности в очистных забоях шахт АО «СУЭК-Кузбасс» показал, что для ее прогноза в реальных динамично-изменяющихся условиях нельзя опираться только на отдельные парные взаимосвязи между концентрацией пыли и единичным фактором, а необходимо учитывать одновременное воздействие на функцию нескольких наиболее значимых факторов.

6. Для прогноза динамики запыленности в очистных забоях при отработке мощных пластов и пластов средней мощности может быть использовано линейное уравнение множественной регрессии, учитывающее влияние на концентрацию пыли в пункте замера крепости разрушаемого угля, высоты его падения, определяемой величиной вынимаемой мощности, скорости смачивания взвешенной угольной пыли, интенсивности выемки, прямо пропорциональной производительности комбайна и удаленности замерной точки от источника пылевыделения. Значимость данных факторов подтверждается значимостью коэффициентов, рассчитанных с доверительной вероятностью 90-95 %.

7. Доказано, что содержание респирабельных фракций в пылевом аэрозоле очистных забоев варьируется в диапазоне от 50,5 до 91,5 %, торакальных – от 74,6 % до 98,7 % и определяется совокупностью физико-механических свойств и состава добываемых углей и сопутствующих горнотехнических факторов.

8. Для своевременного проведения мероприятий по предупреждению у работников угольных шахт заболеваний пылевой этиологии и объективного определения максимально допустимого рабочего стажа в условиях воздействия АПФД предложена формула расчета пылевой нагрузки, учитывающая воздействие на работников пыли респирабельной фракции и различие в ее концентрации на рабочих местах.

9. Процесс изменения содержания в пылевом аэрозоле очистных забоев частиц наиболее опасных для человека тонкодисперсных фракций может быть описан линейной моделью множественной регрессии, в которой учитывается совокупное влияние крепости и влажности добываемого угля, производительности комбайна и расстояния, на котором находится замерная точка от него. Установлено, что непосредственно возле комбайна, на рабочем месте машиниста количество пыли респирабельной и торакальной фракций, витающих в воздухе, сильно зависит от времени их смачивания в процессе орошения помимо указанных выше факторов.

ГЛАВА 3 ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РАЗРАБОТКЕ СОСТАВА ШАХТНОГО СМАЧИВАТЕЛЯ

Необходимость и перспективность совершенствования рецептуры существующих шахтных смачивателей в направлении повышения их смачивающей способности, экологичности и безвредности подтверждается как заинтересованностью в этом со стороны крупных угледобывающих компаний, так и нерешенностью по большей части пылевого вопроса до настоящего времени.

Лабораторные исследования по разработке нового состава шахтного смачивателя включали несколько этапов:

- изучение в лабораторных условиях физико-химических свойств и состава применяемых в настоящее время на угольных шахтах смачивателей;
- предварительный подбор компонентов для смачивателя, обладающих необходимыми характеристиками и удовлетворяющих требованиям для использования в шахтных условиях;
- оценка смачивающей способности подобранных поверхностно-активных веществ и их смеси;
- обоснование конечного состава разрабатываемого шахтного смачивателя и определение оптимальной концентрации его рабочего раствора для орошения углепородной пыли различного состава.

3.1 Анализ физико-химических свойств применяемых шахтных смачивателей

Для определения основных компонентов наиболее распространенного на российских угольных шахтах смачивателя «Эльфор-М» двух модификаций: «Эльфор-М (1)» и «Эльфор-М (2)» был использован метод инфракрасной (ИК) спектроскопии.

Спектры ИК поглощения регистрировали на спектрометре «Vertex-70» (рисунок 3.1) при спектральном разрешении 2 см^{-1} . Проба наносилась на таблетку KBr с предварительно зарегистрированным спектром фона. Из полученного спектра вычитался спектр воды, нанесенной на такую же таблетку KBr.

Полученные спектры двух проб приведены на рисунке 3.2 вместе со спектром воды на таблетке KBr и спектром полиэтиленгликоля из библиотеки «Bruker FTIR Library».

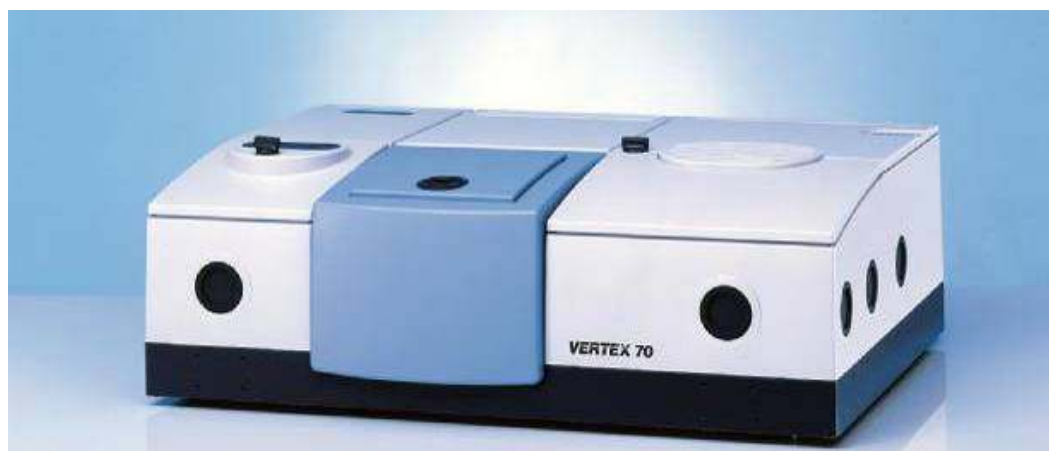


Рисунок 3.1 – ИК-спектрометр «Vertex-70»

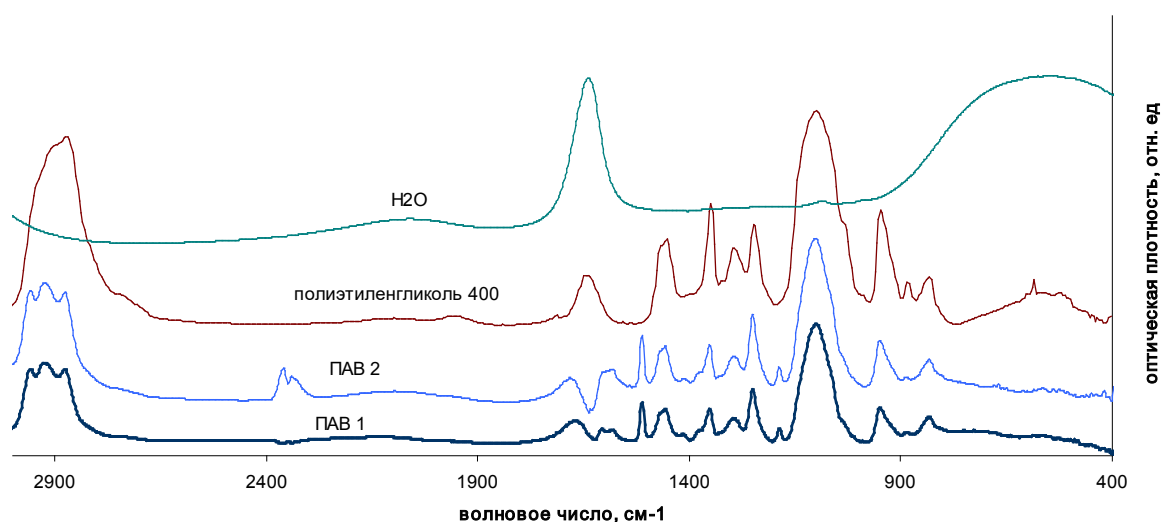


Рисунок 3.2 – Спектрограммы смачивателей «Эльф-М (1)» (ПАВ₁) и «Эльф-М (2)» (ПАВ₂)

Установлено, что спектры образцов смачивателей не имеют значимых отличий между собой и по форме соответствуют спектру эталонного низкомолекулярного полиэтиленгликоля, от которого отличаются только наличием линий 1512 и 1188 см^{-1} . Эти линии могут быть вызваны соответственно С-С валентным и СН или СН_3 деформационным колебаниями.

С целью определения особенностей использования применяемого и разрабатываемого смачивателей, обусловленных их возможным коррозионным

воздействием на применяемое дозирующее оборудование и средства орошения, повышенной вязкостью, влияющей на залипание форсунок и эффективность распыления, были исследованы рН растворов и их динамическая вязкость. Оборудование, применяемое для этих целей, приведено соответственно на рисунках 3.3 и 3.4. Полученные результаты представлены в таблице 3.1.



Рисунок 3.3 – рН-метр HI 2216 «HANNA Instruments»

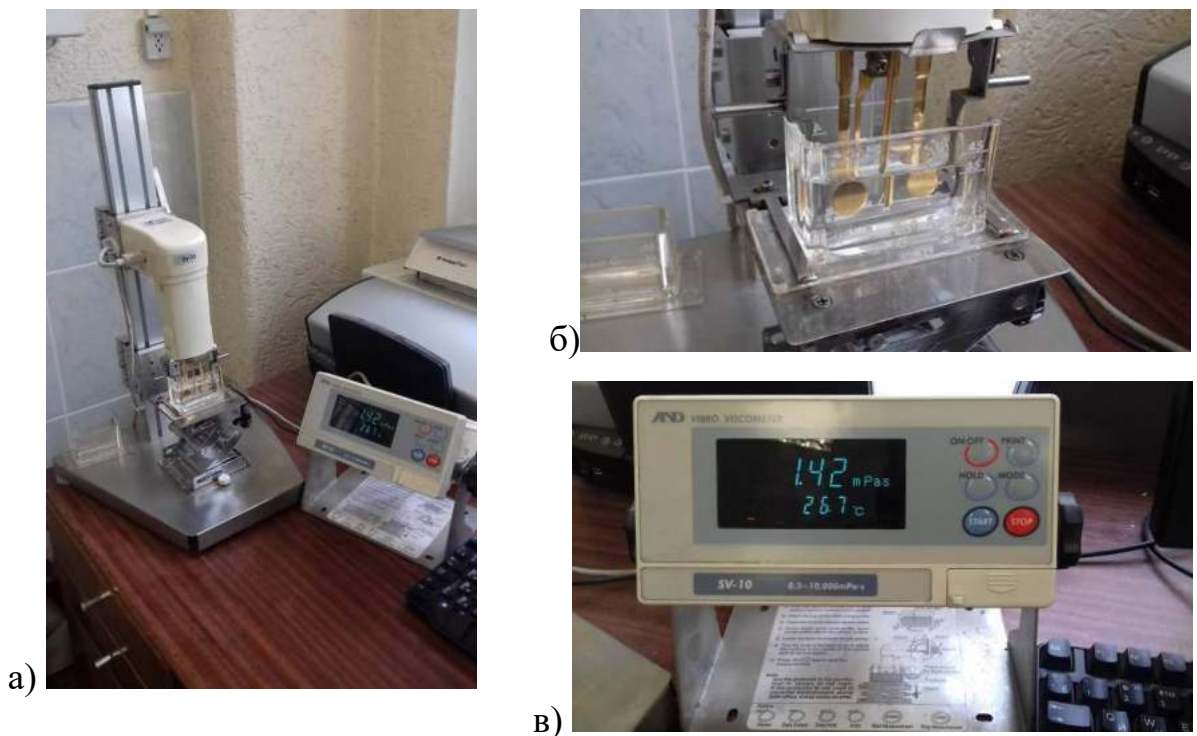


Рисунок 3.4 – Вибровискозиметр «SV-10»

а) общий вид; б) измерительный блок; в) блок управления;

Таблица 3.1 – Результаты определения вязкости и pH растворов смачивателей

Параметр	Значение параметра при концентрации раствора ПАВ, %									
	0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Эльфор-М (1)										
Динамическая вязкость, мПа·с	1,18	1,29	1,33	1,38	1,25	1,39	1,43	1,40	1,47	1,61
Температура, °С	24,6	24,0	22,8	22,3	24,8	22,5	22,7	22,9	22,4	22,8
pH	1,36	2,0	2,16	3,1	1,41	3,12	2,1	1,81	2,0	2,32
Температура, °С	23,6	23,5	22,4	21,8	23,5	21,9	22,2	22,4	22,2	22,5
Эльфор-М (2)										
Динамическая вязкость, мПа·с	1,34	1,34	1,39	1,32	1,39	1,40	1,38	1,48	1,50	1,37
Температура, °С	25,4	26,1	26,3	23,0	23,2	23,5	24,8	22,9	23,0	25,2
pH	5,2	7,1	7,56	5,57	5,07	5,56	5,58	5,11	5,24	5,85
Температура, °С	23,4	26,0	26,1	22,4	22,8	23,0	23,1	22,7	22,6	23,3

В приготовленный водный раствор смачивателя заданной концентрации опускались две тонкие сенсорные пластины вибровискозиметра (рисунок 3.4б), которые при нажатии кнопки «START» начинали вибрировать. Частота вибрации была постоянной – 30 Гц, амплитуда – $1 \pm 0,01$ мм. Через некоторое время на дисплей блока управления выводилась информация динамической вязкости, которая определялась на основе мощности, затрачиваемой на вибрацию пластин. Также посредством измерительного блока, оснащенного термодатчиками, измерялась температура раствора смачивателя, при которой бы определена вязкость. Анализатор pH среды (рисунок 3.3) включает измерительный преобразователь и комбинированный датчик, погружаемый в раствор смачивателя. В основе измерений pH лежит потенциометрический принцип. Замер температуры производился посредством регистрации сигналов от первичного термисторного преобразователя.

При повышении концентрации растворов смачивателя от 0,01 % до 2,5 % происходит увеличение динамической вязкости с 1,18 до 1,61 мПа·с. Тем не менее, даже растворы с наибольшей концентрацией ПАВ остаются текучими, что говорит о потенциальной возможности использования для повышения эффективности пылеподавления высококонцентрированных растворов. По значению pH растворы относятся к кислым.

3.2 Разработка смачивателя на основе алкилполигликозидов

При разработке нового смачивателя было весьма важным разобраться в особенностях применения поверхностно-активных веществ различных типов, рассмотреть их достоинства и недостатки, оценить их смачивающую способность.

ПАВ представляют собой органические соединения, имеющие амфифильное строение, характеризуемое наличием одновременно полярной, гидрофильной части, которая может быть представлена функциональными группами -ОН, -СООН, -SOOОН, -О- и др. и неполярной, гидрофобной части, в качестве которой выступает углеводородный радикал.

Все ПАВ в зависимости от типа гидрофильной части делятся на 3 основных вида: неионогенные, ионогенные и амфотерные [11, 22, 23, 53, 106].

К неионогенным (неионным) ПАВ относят вещества, которые практически не диссоциируют в воде на ионы. Их растворимость в воде обусловлена наличием в молекуле эфирных или гидроксильных групп. Физико-химические свойства веществ данной группы можно корректировать за счет изменения длины углеводородной цепочки и степени полимеризации. К числу неионогенных ПАВ относятся этоксилаты $(R-O-(CH_2CH_2O)_nH)$, пропоксилаты $(R-O-(CH_2CH(CH_3)O)_nH)$, бутоксилаты $(R-O-(CH_2CH(C_2H_5)O)_nH)$, реакция синтеза которых протекает в присутствии щёлочи и реагента (окиси этилена, окиси пропилена, окиси бутилена соответственно) при температуре до 160°C и давлении до 0,55 МПа. Также к неионогенным ПАВ относятся алкилгликозиды $(R-(O-C_6H_{10}O_5)_nH)$, получаемые из реакции, протекающей в присутствии сульфокислот и глюкозы при температуре до 140 °C или из бутиловых эфиров с последующей переэтерификацией. Неионогенные ПАВ обладают большой устойчивостью к воздействию щелочей, кислот и солей. Большинство неионогенных ПАВ можно классифицировать как спирты, эфиры или полиэфиры, сложные эфиры, амиды или их сочетания [22, 23, 53, 106].

Ионогенные ПАВ характеризуются тем, что диссоциируют в воде на ионы, одни из которых обладают адсорбционной (поверхностной) активностью.

В зависимости от того, какие ионы (анионы или катионы) проявляют адсорбционную активность, вещества данной группы делятся на анионные (анионоактивные) и катионные (катионоактивные).

Анионные ПАВ диссоциируют, образуя отрицательно заряженные органические анионы:



К числу анионных ПАВ относятся органические кислоты и их соли (R-COОН или R-COONa, R-COOK), алкилсульфаты (R-O-SO₃H) или соли кислых эфиров высокомолекулярных спиртов жирного ряда и серной кислоты (CH₃(CH₂)_n-O-SO₃Na при n =12-14), алкилэфиросульфаты (R-(CH₂CH₂O)_nOSO₃H) фосфаты и полифосфаты (ROP(OH)₂O; (RO)₂P(OH)O), карбоксиэтоксилаты (R-O-(CH₂CH₂O)_nCH₂COOH). Одним из наиболее широко применяемых анионных ПАВ является лаурилсульфат (CH₃(CH₂)₁₁-O-SO₃Na).

Диссоциация катионных ПАВ сопровождается образованием органических катионов:



Катионными ПАВ являются основания, амины различной степени замещения и их соли, представленные соединениями, приведенными в таблице 3.2 [22, 23, 53].

Таблица 3.2 – Примеры катионных ПАВ

Наименование ПАВ	Строение
Соли первичных аминов	$[\text{R}-\text{NH}_3]^+ \text{A}^-$
Соли вторичных аминов	$\left[\begin{array}{c} \text{R}_1 \\ \\ \text{N} \\ \\ \text{R}_2 \end{array} \right]^+ \text{A}^-$
Четвертичные аммониевые соли	$[\text{R}-\text{N}(\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3)]^+ \text{A}^-$
Сульфониевые соединения	$[\text{R}-\text{S}(\text{R}_1, \text{R}_2)]^+ \text{A}^-$
Фосфониевые соединения	$[\text{R}-\text{P}(\text{R}_1, \text{R}_2, \text{R}_3)]^+ \text{A}^-$
Алкилпиридиновые соли	$\left[\begin{array}{c} \text{C}_5\text{H}_5 \\ \\ \text{N}-\text{R} \end{array} \right]^+ \text{A}^-$

Амфотерные (амфолитные) ПАВ характеризуются наличием двух различных по характеру функциональных групп и могут проявлять анионную либо катионную активность в зависимости от среды, в которой находятся. Амфотерными ПАВ являются соединения, содержащие одновременно карбоксильную и аминогруппу ($\text{RN}^+\text{HR1COO}^-$), сульфозэфирную и аминогруппу ($\text{RN}^+\text{HR1OSO}^{-3}$), сульфонатную и аминогруппу ($\text{RN}^+\text{HR1SO}^{-3}$). Характер проявляемых свойств зависит от pH среды: при $\text{pH} < 7$ (кислая среда) амфотерное ПАВ ведет себя как катионное ПАВ, при $\text{pH} > 7$ (щелочная среда) – как анионное. Наиболее распространенным представителем этой группы ПАВ является алкилбетаин.

Амфотерные ПАВ в сочетании с другими видами ПАВ улучшают пенообразующую способность и повышают безвредность применяемых составов. Химическое строение амфолитных ПАВ предусматривает наличие в их структуре многих разнохарактерных функциональных групп и возможность построения их в различных комбинациях, что обуславливает перспективность их использования.

В процессе использования смачивателя возможно его попадание непосредственно на кожу человека, в глаза и в организм. В зависимости от вида ПАВ, применяемых в составе смачивателя, это может привести к раздражению кожного покрова и слизистых, вызвать болезненное ощущение и даже повреждение глазной ткани, отравление. Поэтому кроме эффективности смачивания пыли весьма важным критерием отбора шахтного смачивателя является воздействие его компонентов на организм человека [22, 23, 53, 106].

Наиболее токсичными и агрессивными по степени негативного воздействия для человека являются катионные ПАВ, наименее вредные – неионогенные. Анионные ПАВ занимают промежуточное место между катионными и неионогенными. Стоит отметить, что на степень токсичности, определяемую величиной LD 50, в пределах одного типа ПАВ оказывает влияние молекулярный вес и структура конкретного вещества.

При выборе шахтного смачивателя помимо воздействия на человека необходимо учитывать и влияние ПАВ, входящих в его состав, на окружающую среду. Критерием экологичности применяемых веществ является их биоразлагаемость. Смачивающие средства, которые не подвержены естественному биоразложению, не задерживаются фильтрующими установками, что приводит к загрязнению рек, водоёмов, поверхностных и подземных источников, включая в частности, источники питьевой воды [16, 88].

Применяемый на шахтах смачиватель «Эльф-М» имеет неплохой показатель биоразлагаемости, находящийся на уровне 90 %. Законодательно закреплена возможность производства и применения ПАВ, биоразлагаемость которых не менее чем 80 %. Хорошая биоразлагаемость (80-90%) отмечается у алкилбензолсульфонатов с неразветвлённой алкильной цепью (C10-C14), которая увеличивается с добавлением в раствор глюкозы. Биоразлагаемость алкилсульфонатов, полученных из нормальных парафинов и алкилсульфатов (C10-C18) достигает 97-98 %.

Исходя из вышесказанного и на основе ранее проведенных исследований, в качестве потенциальных компонентов смачивателя были первоначально выбраны следующие вещества: ПЭГ-400, ПЭГ-40, лауретсульфат натрия, сульфанол, лаурилглюкозид, кокоглюкозид, децилглюкозид, кокамидопропилбетаин. Ниже приведена их краткая характеристика.

ПЭГ-400 – органический полимер этиленгликоля с химической формулой $C_{2n}H_{4n+2}O_{n+1}$ представляет собой бесцветную жидкость с характерным слабовыраженным запахом. Используются в фармакологии, косметологии, в производствах моющих средств, текстильной, металлообрабатывающей и других отраслях промышленности. ПЭГ применяются как растворитель, стабилизатор, регулятор влажности, вязкости, пеногаситель. ПЭГ выступает концентрирующим агентом для осаждения взвесей, бумажной массы, угольной пыли. ПЭГ считается безопасным для человека при проглатывании внутрь и при проникновении через кожу. Полиэтиленгликоль разрешен в странах ЕС и в РФ в качестве пищевой добавки E1521, канцерогенными и мутагенными свойствами не обладает.

ПЭГ-40 представляет собой вязкую массу от светло-бежевой до бесцветной со специфическим запахом. Неионный солюбилизатор и эмульгирующий агент, получаемый реакцией гидрогенизированного касторового масла с этиленоксидом. Используется как эмульгатор и солюбилизатор. Полезные свойства ПЭГ и полное отсутствие вредных побочных эффектов делают его одним из самых распространенных компонентов косметических средств.

Сульфано́л (сульфоно́л) – смесь натриевых солей алкилбензолсульфокислот с общей формулой $R-C_6H_4NaO_3S$, где R – радикал, соответствующий общей формуле C_nH_{2n+1} , где $n=14-18$. Представляет собой гранулированный порошок жёлтоватого цвета, без запаха. Применяется как смачивающее, моющее и эмульгирующее вещество, пенообразователь [53, 106].

Лауретсульфат натрия – анионное ПАВ с формулой $CH_3(CH_2)_{10}CH_2(OCH_2CH_2)_nOSO_3Na$, используется при производстве пеномоющих средств (шампуней, гелей, бытовой химии) и в качестве эмульгатора при получении полимеров, пенообразователя, в средствах пожаротушения. Обладает хорошими пенообразующими, очищающими, жирорастворяющими свойствами даже в жесткой воде. Лауретсульфат натрия является считается безвредным ингредиентом в той концентрации, которая допускается.

Децилглюкозид (Decyl Glucoside) или APG 0810 – неионное ПАВ, изготовленное на основе жирных спиртов кокосового и пальмового масла и кукурузной глюкозы из возобновляемых растений. Имеет формулу $C_{16}H_{32}O_6$. Вязкая, мало прозрачная жидкость со слабым характерным запахом. Децилглюкозид хорошо растворим в воде, стабилен в широком диапазоне pH, обладает высокой поверхностной активностью и растворимостью в концентрированных щелочных растворах и других электролитах, хорошо совместим с другими типами ПАВ, приводя в некоторых случаях к синергетическому эффекту. Хорошо стабилизирует пену, придает ей плотность. Не токсичен, не раздражает кожу, легко биоразлагается, признан одним из самых безопасных ПАВ. Довольно часто используется в качестве основного или совместного ПАВ в косметических и моющих средствах [53, 106].

Кокоглюкозид (Cocoglucoside) или APG 0814 – натуральное неионное поверхностно-активное вещество, образующее стабильную, мягкую, мелкочаистую пену. Получают из сухой мякоти, масла или пальмы кокоса и фруктового сахара. На внешний вид представляет собой вязкую жидкость желтоватого цвета. Кокоглюкозид совместим с поверхностно-активными веществами всех типов без снижения уровня пенообразования или ее стабильности. Кокоглюкозид может уменьшить требуемое количество других пенообразующих ингредиентов, не снижая объем пены и легкость загущения. Легко растворим в воде. Экологически чистый и полностью биоразлагаемый продукт. Имеет сертификаты «ECOCERT» и «COSMOS».

Кокамидопропилбетаин (Cocamidopropyl Betaine) – амфотерное поверхностно-активное вещество, получаемое из жирных кислот кокосового масла и вещества, находящегося в свекле – является производной кокамида (амида жирных кислот кокосового масла) и глицинового бетаина. Имеет формулу $C_{19}H_{38}N_2O_3$. Представляет собой прозрачную или слегка мутную жидкость желтоватого цвета со слабым характерным запахом. Применяется при изготовлении шампуней и мыла, используется в косметике в качестве эмульгатора и загустителя. К числу отличительных свойств кокамидопропилбетаина относятся высокая степень пенообразования и стабильность образуемой пены; совместимость с другими видами ПАВ и способность контролировать динамическую вязкость смесей; отсутствие раздражающего воздействия на кожу и слизистые оболочки, снижает раздражающее действие других ПАВ, является одним из наиболее безопасных.

Лаурилглюкозид является неионным поверхностно-активным веществом, широко используемым в косметике. Получен из глюкозы и лаурилового спирта, представляет собой вязкую белую массу со слабым запахом. Обладает хорошей пенообразующей способностью, используется нередко в сочетании с другими поверхностно-активными веществами, приводя к повышению вязкости и загущению раствора. Не токсичен, биоразлагаем. Содержит 50-52 % основного вещества [53, 106].

Внешний вид некоторых поверхностно-активных веществ, использованных для проведения лабораторных исследований, представлен на рисунке 3.5.

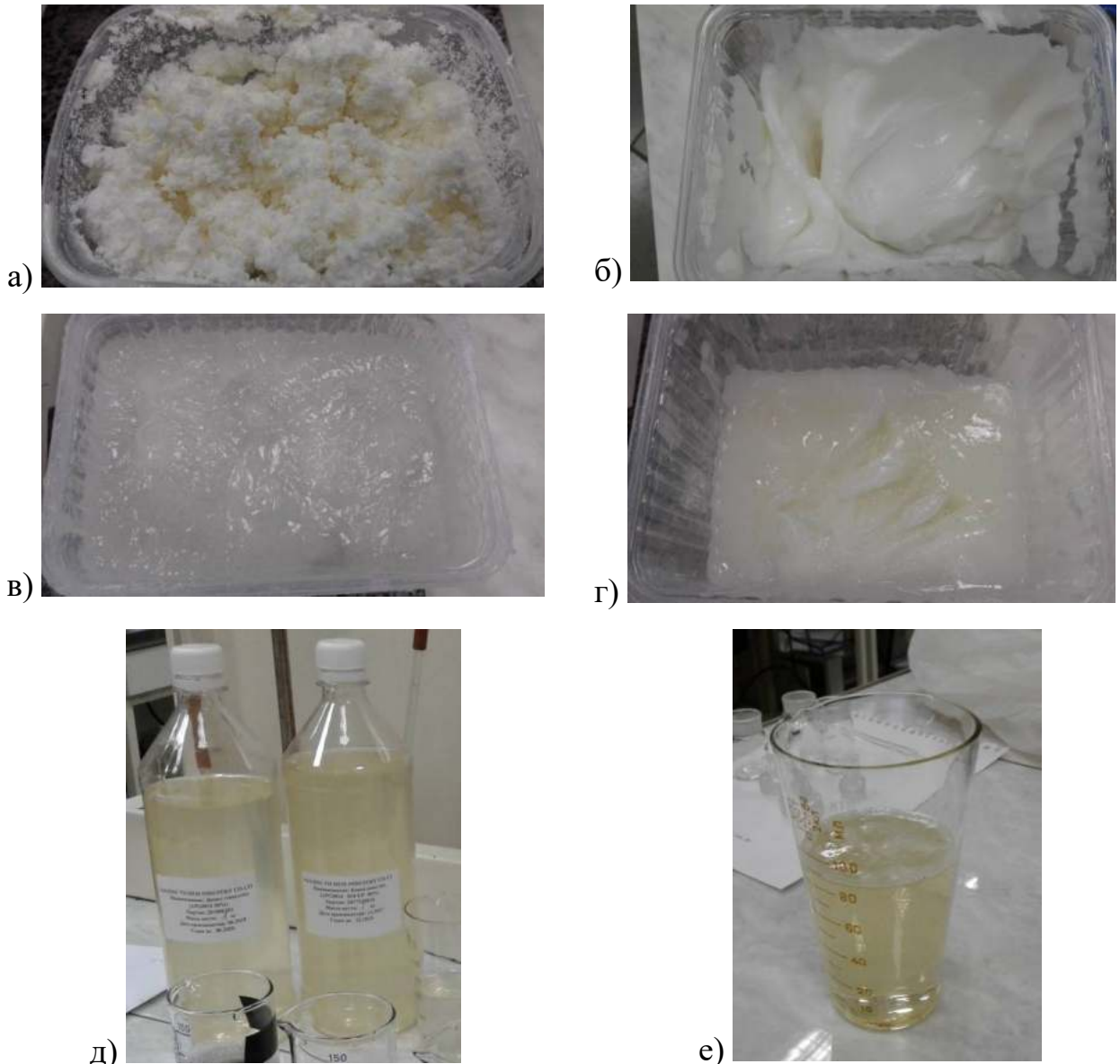


Рисунок 3.5 – ПАВ, использованные для проведения опытов по оценке смачивающей способности их растворов по отношению к угольной пыли

- а) сульфанол; б) лаурилглюкозид; в) лаурет сульфат натрия 70 %; г) ПЭГ-40;
 д) децилглюкозид и кокоглюкозид; е) кокаמידопропилбетаин

Оценка смачивающей способности различных поверхностно-активных веществ и их комбинаций проводилась на пробе угля марки «Г» пласта «Бреевский» шахты «Полысаевская». Проба угля подвергалась разделке в несколько этапов, включающих 3-х стадийное дробление кускового угля до крупности 20-30 мм – вручную, от 20-30 мм до 10-15 мм – на щековой дробилке,

от 10-15 мм до 5 мм на валковой дробилке (рисунок 3.6), измельчению в шаровой мельнице (рисунок 3.7) и рассеву на ситовом анализаторе (рисунок 3.8) до выделения фракции $-0,063$ мм.



Рисунок 3.6 – Пробоподготовка угля (дробление)

а) дробление кускового угля; б) дробленый кусковой уголь; в) дробление в щековой дробилке;
г) дробление в валковой дробилке; д) уголь после дробления в валковой дробилке



Рисунок 3.7 – Измельчение угля в шаровой мельнице

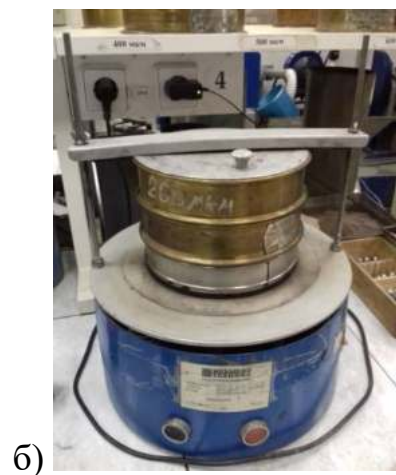


Рисунок 3.8 – Рассев пробы угля на ситовом анализаторе (сита 200 и 63 мкм)

Оценка смачивающей способности смачивателей по отношению к угольной пыли проводилась согласно СТО 00173769-005-2014 «Методы определения смачивающей способности растворов поверхностно-активных веществ по отношению к пыли угольных шахт», базирующемуся на методе пленочной флотации [37, 39, 98]. Из предварительно измельченной до крупности менее 63 мкм пробы угля, доведенной до воздушно-сухого состояния, отбиралась навеска, массой не более 0,1 г., которая затем высыпалась в стакан с приготовленным раствором смачивателя объемом 100 мл³. Смачивающая способность составов определялась по наименьшему времени смачивания (не более 60-80 с) навески угля при одинаковой концентрации растворов (рисунок 3.9) [37, 45, 49].

Время смачивания определяется величиной поверхностного натяжения, которая зависит от типа, свойств и концентрации поверхностно-активных веществ. Помимо параметров краевого угла смачивания (θ) и поверхностной активности (g), выражаемым из известных формул (3.3) и (3.4), для характеристики смачивающего действия ПАВ применяется величина гидрофильно-липофильного баланса или ГЛБ (H), рассчитываемого по формулам У.К. Гриффина (3.5) и Д.Т. Дэвиса (3.6).

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{тг} - \sigma_{тж}}{\sigma_{жг}}, \quad (3.3)$$

где $\sigma_{тг}$, $\sigma_{тж}$, $\sigma_{жг}$ – поверхностное натяжение на границе раздела фаз «твердая-газообразная», «твердая-жидкая», «жидкая-газообразная», Н/м² [23, 106].

$$g = -\frac{d\sigma}{dC}, \quad (3.4)$$

где $d\sigma$ – изменение поверхностного натяжения; dC – изменение концентрации вещества [23, 106].

$$H = 20 \cdot \frac{M_h}{M}, \quad (3.5)$$

где M_h – молекулярная масса гидрофильной части молекулы, M – молекулярная масса всей молекулы [123].

$$H = 7 + \sum_{i=1}^m H_i - 0,475 \cdot n \quad (3.6)$$

где m – количество гидрофильных групп в молекуле; H_i – число для i -ой гидрофильной группы, $H_i = -0,475 \div 38,7$; n – количество липофильных групп в молекуле [123].

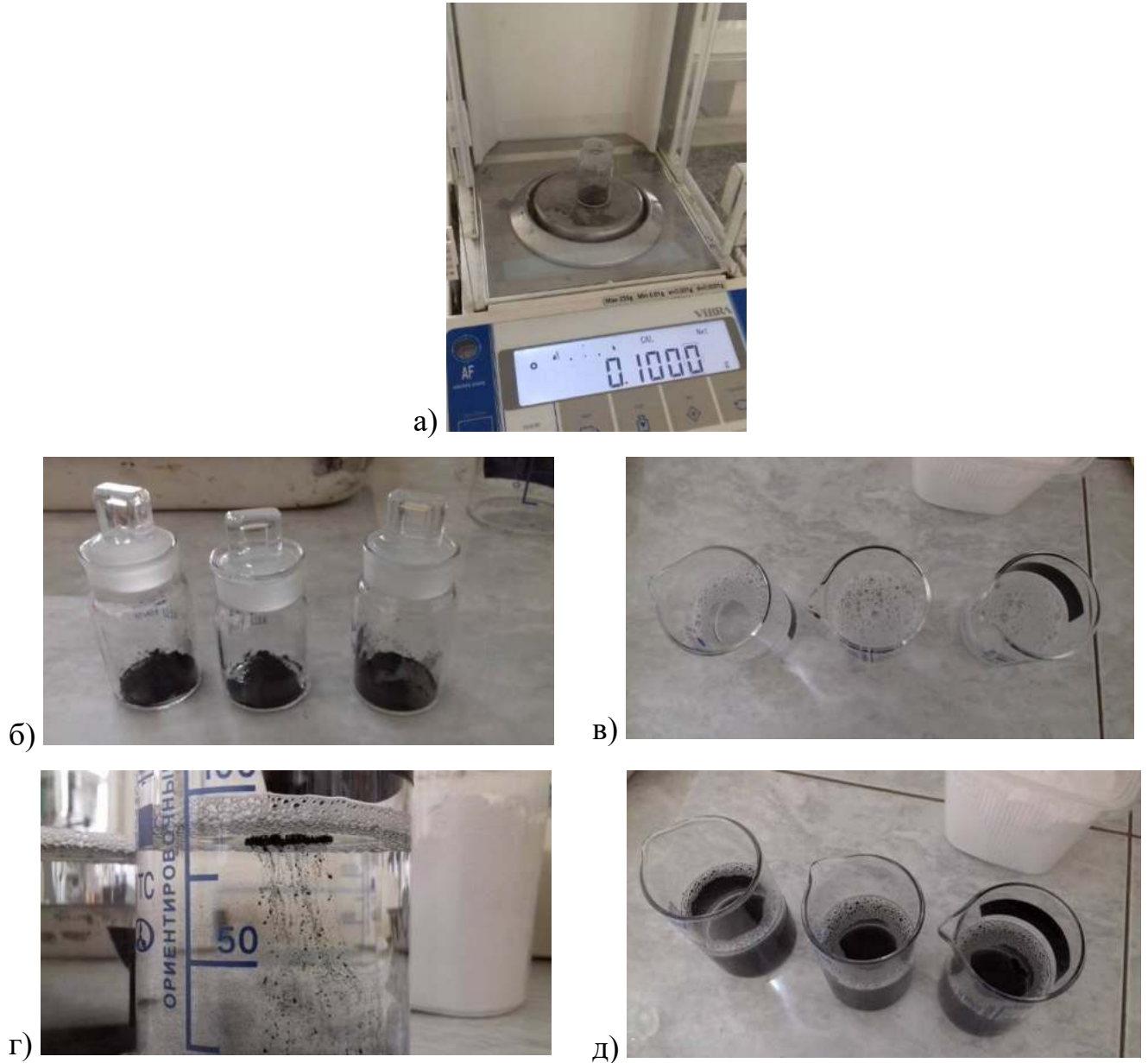


Рисунок 3.9 – Этапы проведения опытов по смачиваемости

а) взвешивание навески угольной пыли; б) подготовленные навески в бюксах; в) раствор ПАВ заданной концентрации в стаканах; г) смачивание и осаждение частиц пыли; д) стаканы с осевшей в растворе смачивателя угольной пылью

Для смачивателей значение ГЛБ считается оптимальным от 7 до 9, хотя может изменяться в более широких пределах. С увеличением числа групп типа -СН -, -СН₂ -, -СН₃ в формуле ПАВ значение *H* возрастает.

Исследование растворов полиэтиленгликоля «ПЭГ-400» и «ПЭГ-40» показало, что они практически не смачивают угольную пыль. При концентрации растворов в диапазоне от 0,01 до 5 % за время наблюдения, равное 10 минутам полного погружения навесок угольной пыли зафиксировано не было. Добавка к указанным растворам небольшого количества NaOH на время смачивания угля не повлияло. Динамическая вязкость при варьировании концентрации растворов в указанном диапазоне для ПЭГ-400 изменялась в пределах от 1,42 до 1,65 МПа·с, для ПЭГ-40 – от 1,42 до 2,47 МПа·с. Приготовление 5 %-ного раствора «ПЭГ-40» сопровождалось увеличенной длительностью размешивания до 30-40 минут, что также связано с высокой вязкостью раствора. Несмотря на оптимальное значение рН растворов полиэтиленгликоля «ПЭГ-400» и «ПЭГ-40», находящегося в диапазоне 5,33-5,71 и 5,36-5,68 соответственно, было принято решение отказаться от дальнейшего рассмотрения данных веществ в качестве компонентов разрабатываемого смачивателя.

Эксперименты с использованием лауретсульфата натрия (таблица 3.3) свидетельствуют о его неплохой смачивающей способности, но при более высоких концентрациях – от 1,5-2,0 % и выше. При концентрациях от 0,01 до 0,1 %, принятых при использовании смачивателей на шахте, угольные навески в течение 10-минутного периода наблюдения почти не опускались с поверхности раствора.

Смачивающее действие раствора сульфанола или алкилбензолсульфоната натрия начинает проявляться уже при концентрации 0,03 %, однако, приемлемое время смачивания (менее 60 с) достигается при концентрации более 0,25 % (таблица 3.4). При концентрации в 2 % достигается максимальная скорость смачивания навески, которая остается практически неизменной при дальнейшем увеличении концентрации ПАВ. По сравнению с лауретом сульфата натрия смачивающая способность сульфанола в диапазоне концентраций от 0,5 до 2,5 %

сильнее в 5-10 раз. Измеренные значения вязкости растворов сульфанола и рН (таблица 3.5) позволяют использовать данное ПАВ в шахтных условиях.

Таблица 3.3 – Результаты определения свойств лауретсульфат натрия 70%

Параметр	Значение параметра при концентрации раствора ПАВ, %										
	0,01	0,05	0,1	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	5,0	7,5	10,0
Время смачивания, с	н/с	н/с	н/с	230	149	101	50	36	13	12	10
	н/с	н/с	н/с	241	148	99	51	33	16	12	12
	н/с	н/с	н/с	236	143	104	54	37	13	10	13
Динамическая вязкость, мПа·с	1,33	1,35	1,37	1,45	1,48	1,54	1,60	1,74	1,88	2,05	2,36
Температура, °С	22,0	22,1	22,0	22,2	22,3	22,1	22,5	22,3	22,3	22,6	23,2
рН	4,77	4,80	4,82	4,93	5,01	5,18	5,26	5,7	5,95	6,22	6,6
Температура, °С	21,8	22,0	21,6	22,0	21,9	22,0	22,1	22,4	22,0	22,3	22,5

Таблица 3.4 – Результаты оценки эффективности растворов сульфанола

Время смачивания навески (с) в растворе ПАВ с концентрацией %												
0,01	0,02	0,03	0,05	0,1	0,25	0,30	0,40	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
н/с	н/с	505	195	97	76	38	24	22	16	8	7	7
н/с	н/с	507	192	122	66	36	24	20	18	9	7	7
н/с	н/с	510	165	97	69	34	27	18	15	9	7	7

Таблица 3.5 – Результаты определения вязкости и рН растворов сульфанола

Параметр	Значение параметра при концентрации раствора ПАВ, %										
	0,01	0,05	0,1	0,25	0,30	0,40	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
Динамическая вязкость, мПа·с	1,68	1,55	1,46	1,35	1,5	1,51	1,5	1,44	1,53	1,5	1,68
Температура, °С	26,8	21,9	22,4	23,9	22,9	23,1	22,9	23,5	23,9	24,5	24,4
рН	5,55	5,46	5,56	5,53	5,44	5,05	4,56	4,75	5,2	5,2	5,69
Температура, °С	26,4	21,9	21,9	24,0	21,9	22,3	22,0	22,9	23,2	23,2	24,4

Лаурилглюкозид при небольших концентрациях раствора 0,01-0,05 % практически не влияет на скорость смачивания угольной пыли. Более выраженное смачивающее действие проявляется при его концентрации 0,1 % – время смачивания навески от 116 до 123 с. Однако, несмотря на не самый плохой смачивающий эффект, приготовление водных растворов лаурилглюкозида без дополнительного температурного воздействия сопряжено со сложностью

дозирования данного ПАВ и перемешивания. Приготовление 0,1 %-ного раствора в обычных условиях занимало более 0,5 часа, не говоря о более концентрированных растворах. При этом чрезвычайно важно следить за тем, чтобы не оставались нерастворенные сгустки, которые могут на практике засорить форсунки и вывести из строя дозирующее оборудование. В связи с указанными особенностями, далее возможность применения данного ПАВ в составе шахтного смачивателя не рассматривалось.

Водные растворы алкилполиглюкозидов обладают наиболее высокой смачивающей способностью как по сравнению с другими исследованными поверхностно-активными веществами, так и по сравнению с шахтным смачивателем «Эльффор-М» (рисунок 3.10).

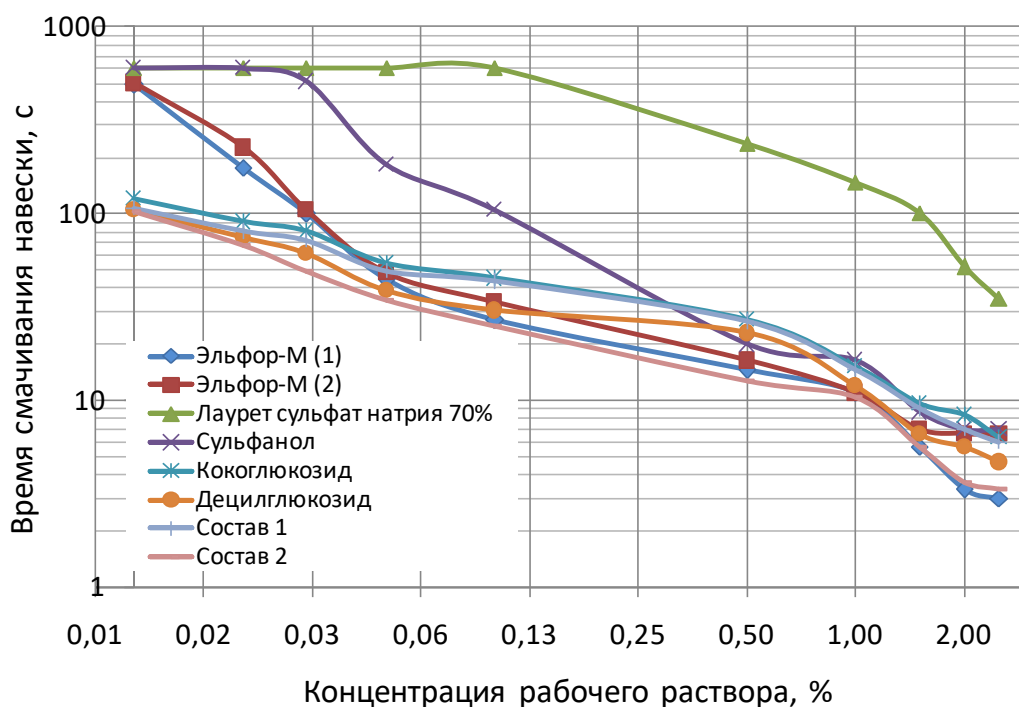


Рисунок 3.10 – Результаты оценки смачивающей способности поверхностно-активных веществ и смачивателей

Особенно большое различие во времени смачивания угля наблюдается при концентрациях растворов от 0,01 до 0,05 % (рисунок 3.11). Так при концентрации раствора 0,01 % время смачивания пыли растворами коко- и децилглюкозида меньше в 4,1-4,7 раза по сравнению с временем смачивания пыли раствором шахтного смачивателя «Эльффор-М».

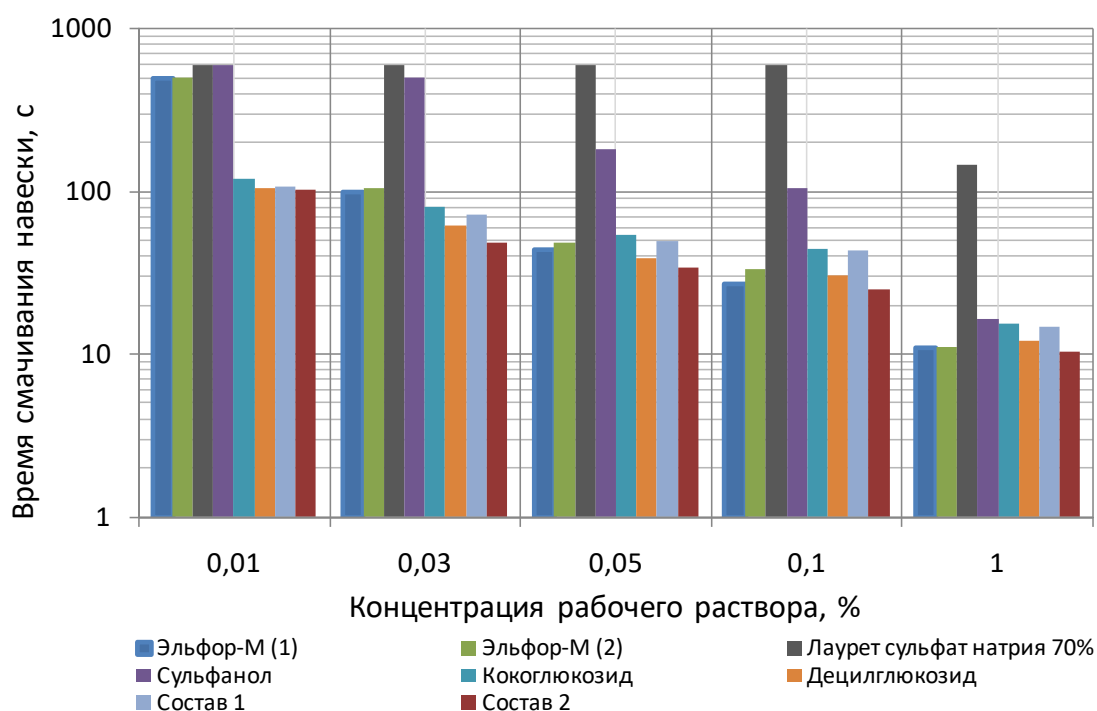


Рисунок 3.11 – Время смачивания навесок угля растворами поверхностно-активных веществ при основных концентрациях до 1 %

При увеличении концентрации растворов от 1 до 2,5 % различие в скорости смачивания угольной пыли растворами алкилполиглюкозидов и шахтным смачивателем практически сглаживается. Для повышения эффективности пылеподавления, были разработаны и исследованы комбинированные составы на основе алкилполиглюкозидов, обозначенные на рисунках 3.11-3.12 как «Состав 1» и «Состав 2». Следует отметить, что смачивающая способность децилглюкозида на порядок выше, чем у кокоглюкозида. Поэтому «Состав 1» включал смесь 50 % децилглюкозида и 15 % кокоглюкозида с добавкой 35 % воды. В «Состав 2» вошли децилглюкозид, кокоглюкозид, кокамидопропилбетаин и вода в следующем процентном соотношении: 50, 15, 5 и 30 % соответственно.

При добавке кокамидопропилбетаина отмечался рост пенообразования, устойчивости образуемой пены и стабильности состава. Кроме того, в смеси с неионными ПАВ проявился синергетический эффект кокамидопропилбетаина, подтверждаемый уменьшением времени смачивания угольной пыли на 3,5-51,9 % в зависимости от общей концентрации раствора смачивателя, в то время как при смачивании навесок слабо концентрированным раствором (0,01-0,03 %) только

одного кокамидопропилбетаина значительного увеличения скорости смачивания пылевых частиц не наблюдалось. Очевидно, что смачивающая способность разработанного смачивателя выше по сравнению с применяемым шахтным смачивателем (рисунок 3.12). Эффективность разработанного состава установлена при смачивании не только угля марки «Г» шахты «Полысаевская», но и других шахтопластов шахт АО «СУЭК-Кузбасс» (рисунок 3.13).

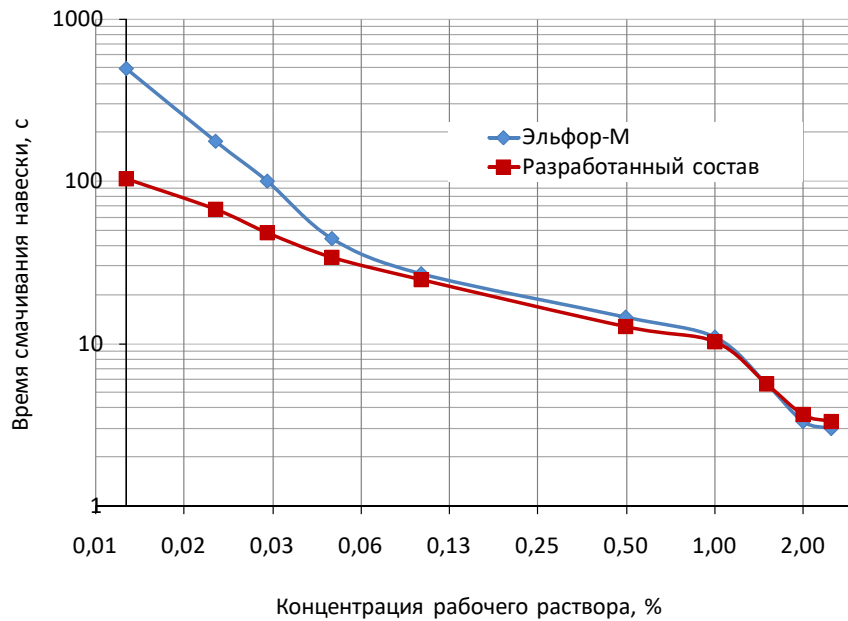


Рисунок 3.12 – Сравнение эффективности разработанного и применяемого смачивателей на примере угля марки «Г» шахты «Полысаевская»

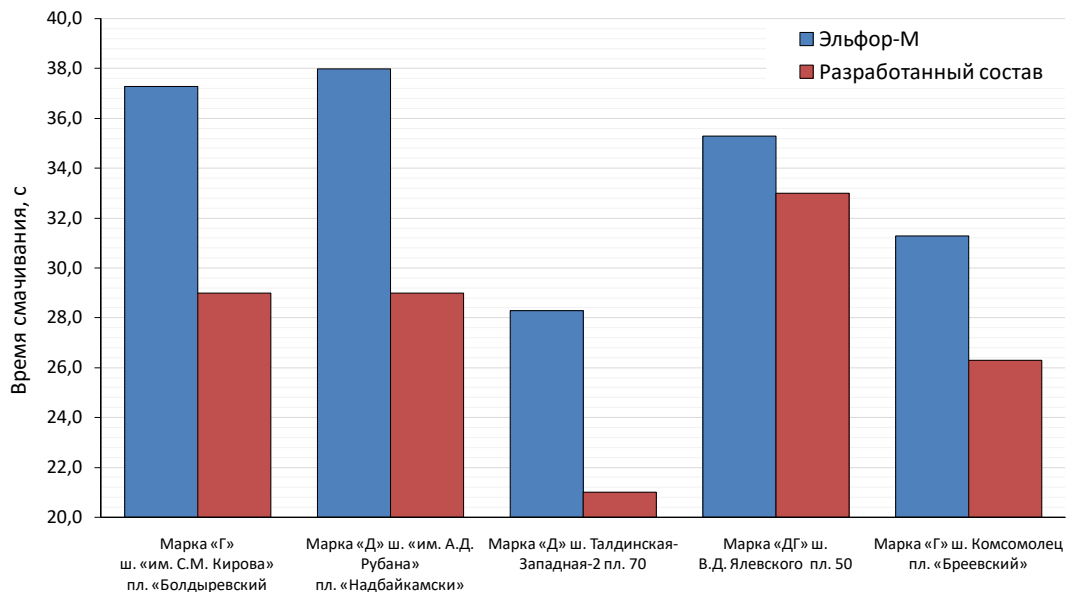


Рисунок 3.13 – Оценка эффективности разработанного смачивателя на примере смачивания пыли углей различных шахтопластов 0,1 %-ными растворами

Таким образом, на основании результатов проведенных лабораторных испытаний к дальнейшим исследованиям можно рекомендовать смачиватель, представляющий собой смесь неионных и амфотерного ПАВ, представленных соответственно алкилполигглицозидами APG 0810, APG 0814 и кокамидопропилбетаином.

3.3 Определение оптимальной концентрации рабочего раствора шахтного смачивателя для углеродной пыли различного состава

Одной из важнейших задач в вопросе повышения эффективности гидрообеспыливания является не только разработка эффективного пылесмачивающего состава, но и определение его рациональной области применения, включая оптимальную концентрацию рабочего раствора. В настоящее время, оптимальную концентрацию рабочего раствора шахтного смачивателя определяют в лабораторных условиях по времени смачивания навески угля согласно методике, подробно рассмотренной в предыдущем разделе, или по массе пыли, осевшей с поверхности раствора в течение фиксированного времени. Чаще прибегают к первому способу.

Для определения оптимальной концентрации раствора разработанного смачивателя в сравнении с применяемым аналогом были использованы угли различных шахтопластов шахт АО «СУЭК-Кузбасс», марка и свойства которых приведены в таблице 3.6.

Лабораторные исследования проводились при следующих концентрациях рабочего раствора: 0,02, 0,03, 0,05, 0,1 %. Опыты проводили на навесках угля крупностью -0,063 мм, доведенных до воздушно-сухого состояния. Полученные результаты приведены в таблице 3.7.

Анализируя полученные данные, хотелось бы обратить внимание на различие во времени смачиваемости пыли углей, относящихся к одной марке, но, отличающихся химическим и петрографическим составом. Например, если сравнить смачиваемость углей марки «Г» шахт «Полысаевская», «им. С.М. Кирова» и «Комсомолец» (рисунок 3.14), то несложно заметить, что

быстрее всего смачивается растворами ПАВ различной концентрации измельченный уголь шахтопласта «Бреевский», обрабатываемый на шахте «Полысаевская», хуже всего – уголь шахтопласта «Болдыревский», относящегося к шахтному полю шахты «им. С.М. Кирова».

Таблица 3.6 – Характеристики углей шахт АО «СУЭК-Кузбасс», используемые в экспериментах по смачиваемости

Шахта / пласт	Марка угля	Влага общая W_t^r , %	Зольность, A^d , %	Содержание SiO_2 , β_{SiO_2} , %	Содержание Al_2O_3 , $\beta_{Al_2O_3}$, %	Содержание витринита, V_t , %	Содержание инертинита, I_t , %
Полысаевская пл. Бреевский	Г	7,3	23,5	61,3	18,3	65	3
им. С.М. Кирова пл. Болдыревский	Г	3,1	43,1	66,3	21,2	79	16
Комсомолец пл. Бреевский	Г	8,3	28,4	42,6	16,8	86	8
им. А.Д. Рубана пл. Надбайкаимский	Д	12,5	25,2	62,0	18,0	89	9
Талдинская-Западная-2 пл. 70	Д	12,4	12,0	60,9	23,4	83	15
им. В.Д. Ялевского пл. 50	ДГ	9,6	23,5	59,6	18,5	88	9
им. В.Д. Ялевского пл. 52	ДГ	8,2	14,8	59,3	22,8	80	9

Если посмотреть на приведенные в таблице 3.6 характеристики углей рассматриваемых шахтопластов, то стоит отметить, что уголь пласта «Бреевский» шахты «Полысаевская» из анализируемых 3-х типов углей, относящихся к марке «Г», характеризуется как минимальным содержанием минеральных включений (зола), составляющей 23,5 %, так и минимальным содержанием в органической части микрокомпонентов группы витринита и инертинита, доля которых 65 % и 3 % соответственно. У угля шахты «имени С.М. Кирова» наиболее высокие значения зольности, равной 43,1 %, содержания Al_2O_3 в золе (21,2 %) и содержания инертинита, более чем в 5 раз превышающего его значение в угле шахты «Полысаевская». Уголь пласта «Бреевский» шахты «Комсомолец» быстрее смачивается по сравнению с углем пласта «Болдыревский» шахты «имени С.М. Кирова» и несколько медленнее по сравнению с углем, добываемым

на шахте «Полысаевская», что можно связать со средними значениями зольности и содержания мацералов группы витринита и инертинита по сравнению с аналогичными параметрами двух других сравниваемых углей марки «Г».

Скорость смачивания углей пласта «Надбайкамский» шахты «имени А.Д. Рубана» и пласта «70» шахты «Галдинская-Западная-2», относящихся к марке «Д», заметно отличается друг от друга, как при использовании разработанного смачивателя, так и смачивателя «Эльф-М» (рисунок 3.15). В данном случае, основными факторами, повлиявшими на увеличение времени смачивания угля пласта «Надбайкамский», являются повышенное содержание минеральных включений, более чем в 2 раза превышающее их долю в угле пласта «70», и повышенное содержание витринита.

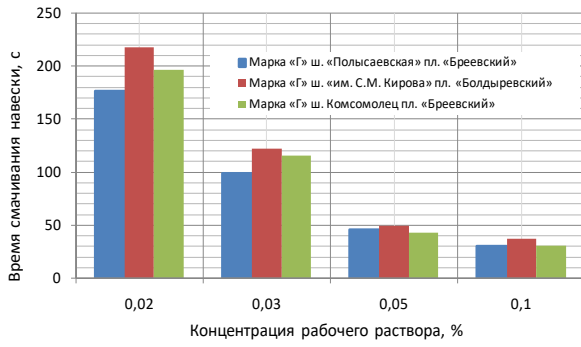
Даже в пределах одной шахты скорость смачивания углей одного марочного состава может различаться. Так, из рисунка 3.16 следует, что уголь марки «ДГ» пласта «52» шахты «имени В.Д. Ялевского» смачивается несколько быстрее угля той же марки «ДГ», добываемого на той же шахте «имени В.Д. Ялевского», но в пределах пласта «50». Более высокая смачиваемость угля пласта «52» объясняется меньшим содержанием гидрофобной золы и мацералов группы витринита, имеющих более высокую плотность по сравнению с другими микрокомпонентами. Также, чем меньше влажность угля при прочих равных условиях, тем больше его впитывающая способность.

Выявленные зависимости коррелируются с выводами, сделанными на основе изучения смачиваемости углей Кузбасса, представленными в работах [24, 44].

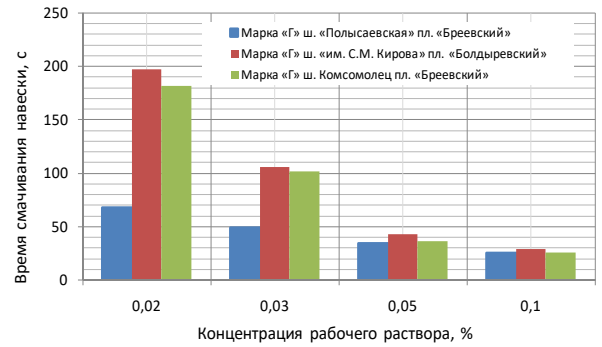
Различие в скорости и времени смачивания углей, относящихся к одной марке, сказывается на фактическом значении оптимальной концентрации рабочего раствора смачивателя, принимаемой для орошения в забоях. Для подтверждения данного обстоятельства на основе данных таблицы 3.7 были построены усредненные кривые смачиваемости пыли углей различного состава при использовании смачивателя «Эльф-М» (рисунок 3.17) и разработанного смачивателя на основе неионных и амфотерного ПАВ (рисунок 3.18).

Таблица 3.7 – Определение оптимальной концентрации раствора смачивателя

Наименование смачивателя	Время смачивания навески (с) при концентрации рабочего раствора			
	0,02 %	0,03 %	0,05 %	0,1 %
Марка «Г» ш. «Полысаевская» пл. «Бреевский»				
Эльфор-М	175	100	45	29
	180	98	45	30
	175	99	47	31
Разработанный состав	65	48	36	25
	70	46	34	24
	68	52	33	26
Марка «Г» ш. «им. С.М. Кирова» пл. «Болдыревский»				
Эльфор-М	230	117	49	37
	212	128	51	39
	210	122	48	36
Разработанный состав	193	101	42	28
	208	105	43	30
	190	111	45	29
Марка «Д» ш. «им. А.Д. Рубана» пл. «Надбайкамский»				
Эльфор-М	680	155	56	37
	690	145	53	40
	675	147	56	37
Разработанный состав	231	66	38	28
	244	66	40	29
	250	67	38	30
Марка «Д» ш. Талдинская-Западная-2 пл. 70				
Эльфор-М	278	60	37	27
	275	61	34	29
	261	62	34	29
Разработанный состав	262	59	33	22
	260	59	32	19
	267	58	35	22
Марка «ДГ» ш. «им. В.Д. Ялевского» пл. 50				
Эльфор-М	196	141	58	35
	200	140	60	34
	193	154	59	37
Разработанный состав	118	64	54	33
	125	64	54	34
	128	61	53	32
Марка «ДГ» ш. «им. В.Д. Ялевского» пл. 52				
Эльфор-М	173	75	50	35
	176	78	50	35
	183	75	67	35
Разработанный состав	104	59	43	25
	103	63	39	27
	95	65	44	27
Марка «Г» ш. Комсомолец пл. «Бреевский»				
Эльфор-М	200	118	42	30
	195	116	45	32
	193	112	42	32
Разработанный состав	179	101	38	25
	182	107	36	28
	183	98	35	26

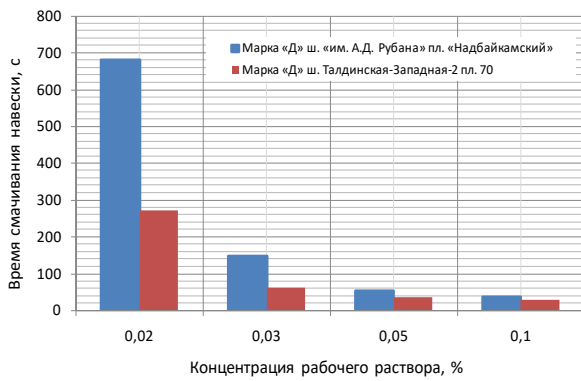


а)

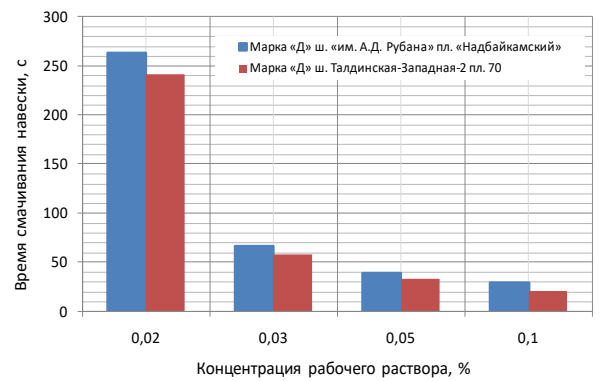


б)

Рисунок 3.14 – Сравнение смачиваемости углей марки «Г» растворами смачивателя «Эльфор-М» (а) и разработанного смачивателя (б)

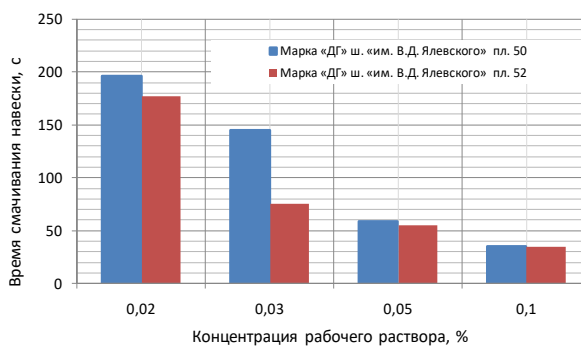


а)

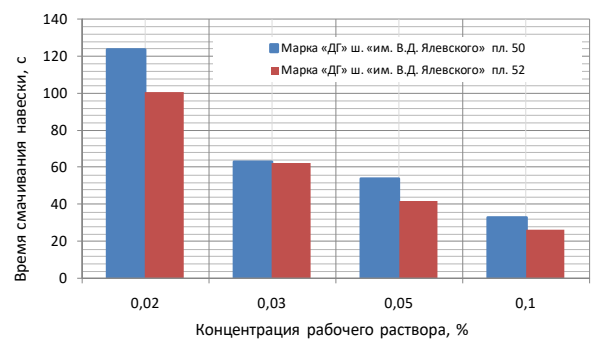


б)

Рисунок 3.15 – Сравнение смачиваемости углей марки «Д» растворами смачивателя «Эльфор-М» (а) и разработанного смачивателя (б)



а)



б)

Рисунок 3.16 – Сравнение смачиваемости углей марки «Д» растворами смачивателя «Эльфор-М» (а) и разработанного смачивателя (б)

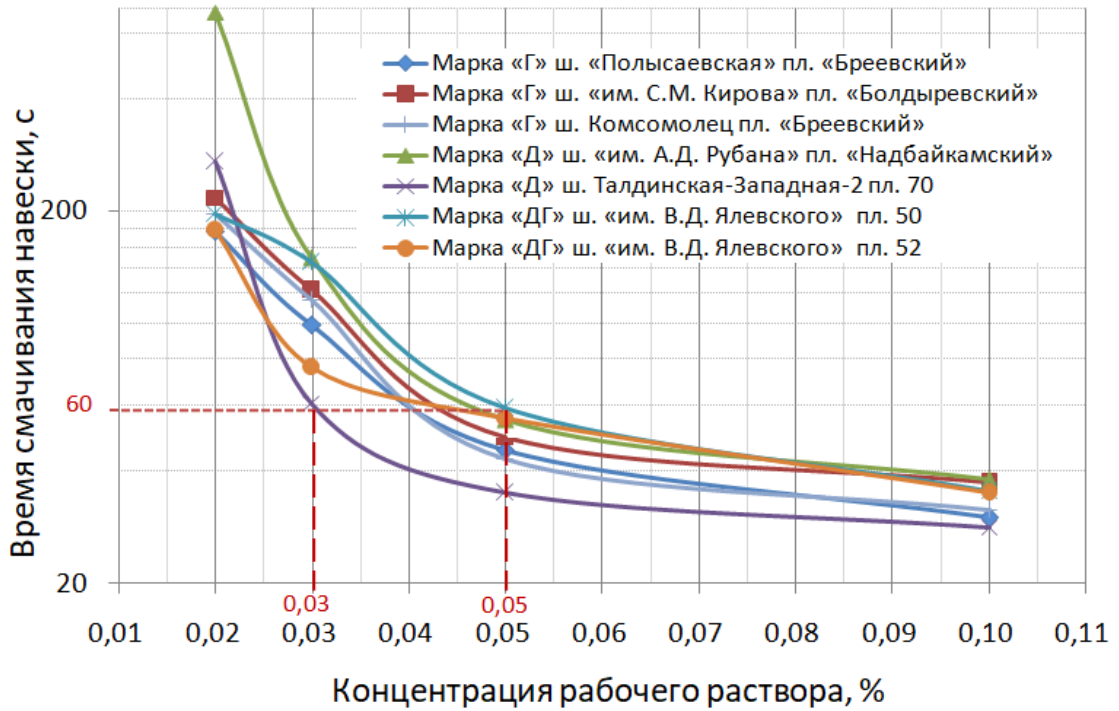


Рисунок 3.17 – Определение оптимальной концентрации смачивателя «Эльфор-М» для углей шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

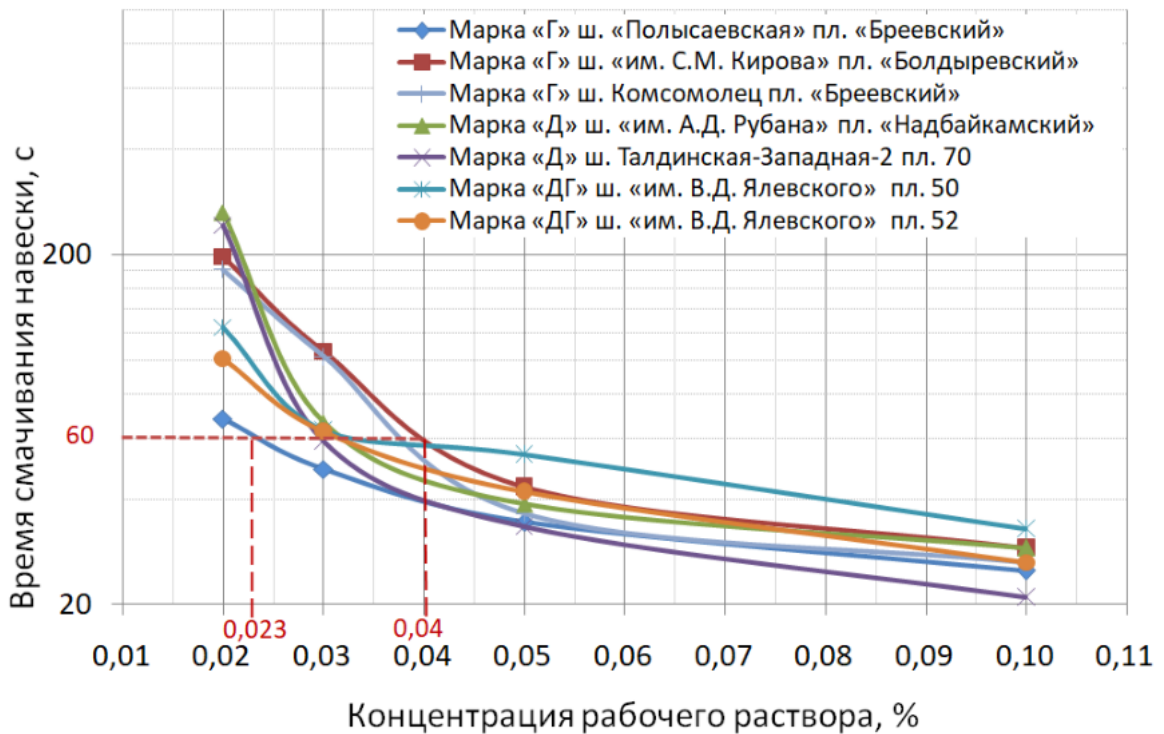


Рисунок 3.18 – Определение оптимальной концентрации разработанного смачивателя для углей шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

Как уже говорилось, основным критерием для подбора оптимальной концентрации смачивателя является время смачивания навески тонкоизмельченного угля крупностью $-0,063$ мм, определяемое в лабораторных условиях и которое не должно превышать одной минуты. В руководстве по применению шахтных смачивателей, используемых в настоящее время на угольных шахтах, оптимальные концентрации установлены в отношении определенных марок углей без учета особенностей свойств шахтопластов конкретных шахт. Оптимальная концентрация смачивателя «Эльфор-М» для орошения породы и углей всех типов, за исключением марки «К», заявляемая производителем, составляет $0,02$ %.

Однако, если посмотреть на рисунок 3.18, то видим, что оптимальная концентрация для углей шахт АО «СУЭК-Кузбасс» марок «Г», «ДГ», «Д» находится в пределах от $0,03$ % до $0,05$ %. При этом для углей марки «Г» оптимальная концентрация варьируется от $0,040$ % до $0,043$ %, марки «ДГ» – от $0,043$ % до $0,05$ %, марки «Д» – от $0,030$ % до $0,047$ %.

Для разработанного смачивателя оптимальная концентрация рабочего раствора несколько ниже – от $0,023$ % до $0,04$ % (рисунок 3.19). При этом для углей марки «Г» она составляет $0,023$ - $0,040$ %, марки «ДГ» – $0,031$ - $0,033$ %, марки «Д» – от $0,030$ - $0,047$ %.

Хотелось бы отметить, что в нормативных документах не дается четкого обоснования того, почему время смачивания, равное 60 секундам, является оптимальным для выбора концентрации рабочего раствора. Ясно, что чем больше скорость смачивания частиц пыли, тем быстрее будет происходить процесс их коагуляции и осаждения и тем меньше витающей пыли будет в воздухе. Исходя из этого, предлагается оптимальную концентрацию смачивателя определять по времени смачивания, не превышающему 30 секунд. Для разработанного смачивателя оптимальная концентрация для вышерассмотренных марок углей составит $0,057$ - $0,105$ %, для смачивателя «Эльфор-М» – $0,085$ - $0,13$ %.

Очевидно, что для повышения эффективности пылеподавления в очистных и подготовительных забоях угольных шахт при выборе оптимальной

концентрации рабочего раствора смачивателя недостаточно учитывать только различие в смачиваемости углей разных марок. Необходимо рассматривать и влияние на смачиваемость углей в пределах одной марки совокупности их физико-химических свойств.

Как видим, разработанный состав смачивателя имеет более высокую смачивающую способность по сравнению с применяемым аналогом. Для возможности использования смачивателя на производстве важно произвести комплексную оценку его свойств.

3.4 Определение эксплуатационных характеристик предлагаемого смачивателя

Шахтные смачиватели помимо высокой смачивающей способности должны быть негорючими и взрывобезопасными, не оказывать значительного коррозионного воздействия на шахтное оборудование и материалы, обладать низкой степенью воздействия на организм человека (относиться к малоопасным и неопасным веществам либо умеренно опасным), иметь высокую степень биоразлагаемости [67]. Единого документа, в котором были бы прописаны жесткие требования именно к шахтным смачивателям, в настоящее время нет. Однако при оценке свойств смачивателей специалисты, в частности, опираются на ГОСТ Р 50588-2012 «Пенообразователи для тушения пожаров. Общие технические требования и методы испытаний», основные требования из которого представлены в таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Требования к свойствам смачивателей

Наименование параметра	Ед. изм.	Показатель
Плотность при 20 °С	кг/м ³	1000-1200
Кинетическая вязкость при 20 °С, не более	мм ² ·с ⁻¹	100
Водородный показатель (рН) водного раствора с массовой долей продукта 1 %		7,0-10,0
Концентрация рабочего раствора смачивателя, не более	%	0,5
Поверхностное натяжение водного раствора смачивателя, не более	мН/м	35

Для оценки свойств разработанного смачивателя применялись ранее указанные вискозиметр «SV-10», рН-метр «HI 2216 HANNA Instruments», а также вискозиметр «HERZOG HVM 472» и тензиометр «DCAT 21».

Определенные параметры разработанного смачивателя сведены в таблицу 3.9.

Таблица 3.9 – Характеристики предлагаемого смачивателя

№	Наименование показателя	Значение показателя смачивателя
1.	Внешний вид	Однородная жидкость желтоватого цвета
2.	Запах	Допускается легкий запах применяемого сырья
3.	рН водного раствора с концентрацией 1 %, в пределах	5,5-7,5
4.	Содержание ПАВ, %	50±1
5.	Динамическая вязкость рабочего 0,05 %-ного раствора, мПа·с	1,50
6.	Плотность при 20 °С, кг/м ³	1100
7.	Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² ·с ⁻¹	85
8.	Поверхностное натяжение водного раствора смачивателя, мН/м	менее 30

Из анализа приведенных характеристик и сравнения их с требованиями, приведенными выше, следует, что разработанный смачиватель может быть использован по назначению. Безопасность и экологичность предлагаемого смачивателя обусловлены использованием в его составе натуральных, практически полностью биоразлагаемых компонентов, не оказывающих раздражающего воздействия на кожу и слизистые оболочки человека.

Основываясь, на положительных результатах лабораторных исследований смачивающей способности и эксплуатационных характеристик разработанного смачивателя в отношении различных типов углей шахт АО «СУЭК-Кузбасс» следующим закономерным этапом являлась апробация состава в натуральных условиях.

3.5 Выводы по третьей главе

1. Результаты исследования образцов шахтного смачивателя «Эльффор-М» двух модификаций «Эльффор-М (1)» и «Эльффор-М (2)», используемых в настоящее время на российских угольных шахтах, показали, что максимальная скорость смачивания угольной пыли достигается при использовании растворов с концентрацией 1,5-2,0 % (время смачивания навески пыли 3-7 с). При повышении концентрации растворов смачивателя от 0,01 % до 2,5 % происходит увеличение их динамической вязкости с 1,18 до 1,61 мПа·с, что не сильно отражается на текучести смачивателя и его использовании.

2. При разработке новых составов смачивателей важно учитывать раздражающее действие компонентов на кожу и слизистые человека, которое усиливается от неионогенных ПАВ к катионным, и их биоразлагаемость.

3. Одним из критериев первоначального отбора ПАВ для смачивателя с точки зрения его смачивающей способности может служить показатель гидрофильно-липофильного баланса, значение которого зависит от числа групп типа -СН -, -СН₂ -, -СН₃ в формуле.

4. Установлено, что растворы полиэтиленгликоля «ПЭГ-400» и «ПЭГ-40» практически не смачивают угольную пыль. Смачивающая способность лаурет сульфат натрия в отношении угольной пыли проявляется при концентрации его в водном растворе не менее 0,5 % и достигает максимума при 7,5-10,0 %.

5. Смачивающее действие раствора сульфанола начинает проявляться при концентрации 0,03 %, однако, оптимальная концентрация, определяемая временем смачивания навески пыли не более 60 с., составляет 0,25-0,30 %.

6. Разработанный состав смачивателя на основе неионных и амфотерных поверхностно-активных веществ, представленных алкилполиглицозидами и кокамидопропилбетаином соответственно, показал свою эффективность в отношении смачивания пыли углей различных типов при различных концентрациях рабочего раствора по сравнению с применяемым на российских шахтах аналогом.

7. Время смачивания пыли углей обрабатываемых в АО «СУЭК-Кузбасс» шахтопластов зависит от химического и петрографического состава углей и снижается с 68-263 сек. при концентрации раствора смачивателя, равной 0,02 %, до 21-33 сек. при концентрации 0,1 %.

8. Доказано, что оптимальная концентрация рабочего раствора шахтного смачивателя должна определяться не только для углей разных марок, но и углей, относящихся к одной марке, но к разным шахтопластам с отличающимися физико-химическими свойствами. К числу основных факторов, определяющих время смачивания углей, относятся содержание в них общей влаги, минеральных включений и их типа (в частности, Al_2O_3 и SiO_2), мацералов группы витринита и инертинита.

9. Оптимальные концентрации рабочего раствора разработанного смачивателя, установленные по времени смачивания навески – не более 60 сек., для углей марок «Г», «ДГ», «Д» 7 пластов шахт АО «СУЭК-Кузбасс» составляют 0,023-0,04 %. Оптимальные концентрации раствора применяемого аналога составили от 0,03 до 0,05 %.

10. В качестве граничного времени для определения оптимальной концентрации рабочего раствора шахтного смачивателя с учетом особенностей пылеподавления и пылеосаждения при использовании средств орошения предлагается рассмотреть не 60, а 30 секунд.

11. Оптимальные концентрации рабочего раствора, установленные по времени смачивания навески – не более 30 сек., для вышерассмотренных марок углей составит 0,057-0,105 %, для смачивателя «Эльфор-М» – 0,085-0,13 %.

12. Анализ физико-химических свойств эксплуатационных характеристик предлагаемого смачивателя свидетельствует о соответствии его предъявляемым требованиям.

ГЛАВА 4 АПРОБАЦИЯ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ФРАКЦИЙ В ВОЗДУХЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК УГОЛЬНЫХ ШАХТ

В диссертационной работе в качестве основного мероприятия по повышению эффективности пылеподавления в очистных и подготовительных забоях угольных шахт, включая снижение содержания наиболее вредных для человека тонкодисперсных фракций, рассматривается применение в процессе орошения смачивателя, имеющего более высокую смачивающую способность по сравнению с используемым на шахтах аналогом.

На предыдущих этапах работы были:

– предложены математические модели по прогнозу содержания респираторной и торакальной фракций пыли в воздухе очистных забоев, которые позволяют не только оценить пылевую обстановку на рабочих местах, но и предпринять превентивные меры по ее улучшению;

– проведены лабораторные исследования, в ходе которых разработан состав шахтного смачивателя, позволяющего уменьшить время смачивания пыли углей различных типов по сравнению с используемым аналогом.

Для подтверждения эффективности предлагаемого решения были проведены шахтные испытания, целью которых являлось также оценить влияние на достигнутые результаты факторов, которые не могут быть учтены в лабораторных условиях.

4.1 Натурные испытания эффективности разработанного смачивателя в условиях шахт АО «СУЭК-Кузбасс»

В 2019 году были проведены шахтные испытания опытного образца шахтного смачивателя, разработанного и произведенного на базе Санкт-Петербургского горного университета. Эксперименты проводились на шахте «Полысаевская» в подготовительном забое магистрального конвейерного штрека 19-01.

Для ведения горных работ по пласту «Емельяновский» применялся проходческий комбайн КП-21. Производительность комбайна составляет 2,4 т/мин. При сечении выработки, равном $17,3 \text{ м}^2$, продвижение забоя – 1 м за цикл.

Пласт является опасным по взрывам угольной пыли, с глубины 150 м относится к категории угрожаяемым по горным ударам, не склонен к самовозгоранию. Угольные пачки характеризуются мощностью 1,6 м.

Шахтные испытания экспериментального образца смачивателя проводились при следующих условиях:

- температура воздуха – $19,6 \text{ }^\circ\text{C}$,
- атмосферное давление – $100,55 \text{ кПа}$
- влажность воздуха – 75% ,
- скорость движения воздуха – $0,66 \text{ м/с}$.

В системе орошения комбайна КП-21 применяется дозатор «ДС-50/200» (рисунок 4.1), в который осуществлялась подача смачивателя.

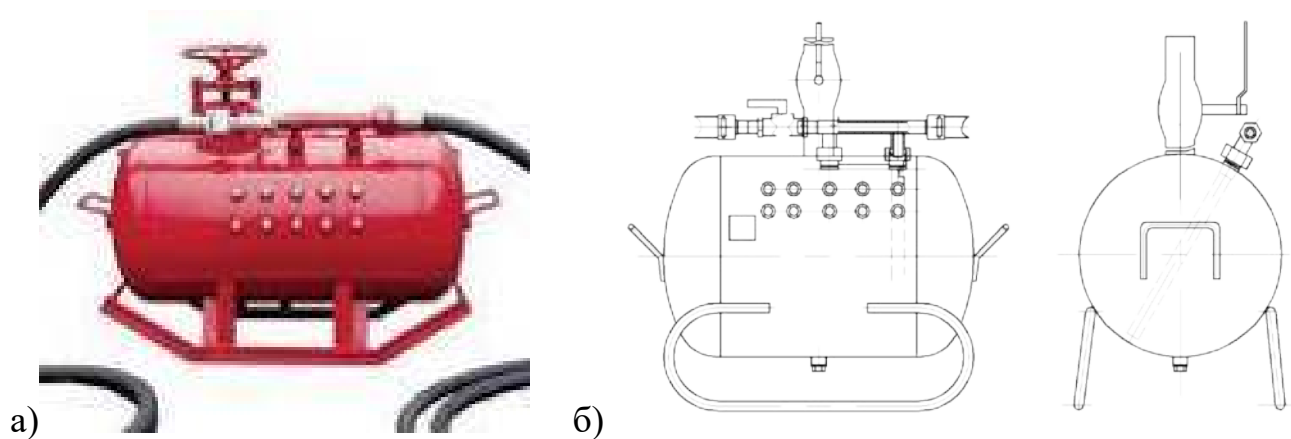


Рисунок 4.1 – Дозатор «ДС-50/200»

внешний вид (а) и схема устройства (б)

Дозатор представляет собой цилиндрическую емкость со съемной крышкой в верхней торцевой части, имеющей уплотнительную прокладку, которая крепится к корпусу специальным крепежным элементом. Дозирующий блок состоит из патрубка, по которому подается вода в дозатор, сменных жиклеров,

расположенных попарно одного размера на входе и выходе из дозатора, и патрубка, по которому осуществляется подача смачивателя в напорную магистраль. Дозатор имеет герметичную емкость, в которую заливается жидкий смачиватель. При подаче воды в узел дозирования основной поток проходит по трубе, а небольшая часть через жиклер поступает в емкость, вытесняя из него жидкий смачиватель. От диаметра отверстия жиклера зависит концентрация рабочего раствора смачивателя. Основные технические характеристики дозатора «ДС-50/200» приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Основные характеристики дозатора «ДС-50/200»

Характеристика	Значение
Расход воды, подаваемой к дозатору, л/мин, не более	200
Давление воды, МПа, не более	4,0
Концентрация смачивателя, %	0,05-0,3
Объем резервуара для смачивателя, л	50
Габаритные размеры, мм: высота/ диаметр/ длина ширина	700×780×410
Масса, кг, не более	65

Давление воды на оросителях комбайна КП-21 составляло 2,0 МПа, тип форсунок КФ-04-40, диаметр жиклера дозатора 1,5 мм, рассчитанного на приготовление рабочего раствора смачивателя с концентрацией 0,05 %. Суммарный расход воды для КП-21 составлял 150 л/мин.

Проводилось две серии опытов. На первом этапе производились замеры запыленности на месте машиниста комбайна и на расстоянии 30 м от комбайна при работе комбайна в режиме резания с использованием смачивателя «Эльформ», на втором этапе – с использованием опытного образца разработанного смачивателя. Концентрация рабочих растворов смачивателей при орошении составляла 0,05 %.

Замеры запыленности воздуха производились согласно ОСТ 153-12.0-004-01 при помощи прибора контроля запыленности воздуха «ПКА-01» и пылемера «СIP-10» (рисунок 4.2). Атмосферное давление, температура и скорость воздуха определялись с помощью измерителя ПДСВ (рисунок 4.3). Основные технические

характеристики пылемера «ПКА-01» были приведены ранее во второй главе диссертации, остальных приборов – в таблицах 4.2-4.3.

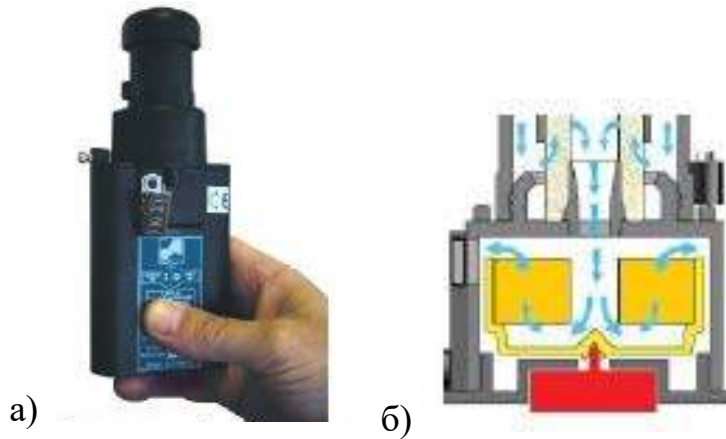


Рисунок 4.2 – Пылемер «СІР-10»

а – внешний вид, б – внутреннее устройство прибора



Рисунок 4.3 – Измеритель скорости воздушного потока переносной «ПДСВ»

Действие пылемера «СІР-10» основано на следующем принципе. За счет вращения фильтра из пористого материала возникает поток воздуха, увлекающий пылевые частицы из воздуха. Загрязненный воздух проходит через кольцевой вход под защитным колпачком и далее через входное отверстие и коническую направляющую трубку направляется к вращающемуся пористому фильтру, на котором и происходит осаждение пыли. Фильтр взвешивается в лаборатории до и после измерений, и с учетом объема прокачанного воздуха определяется массовая концентрация пыли.

Таблица 4.2 – Технические характеристики пылемера «СІР-10» [11]

Наименование параметра	Значение
Максимальное время непрерывного отбора проб пыли, ч	40
Объем прокачанного воздуха при определении концентрации витающей пыли, л/мин.	10
Объем прокачанного воздуха при определении концентрации респиральной пыли, л/мин.	7
Масса, не более, г	300
Габаритные размеры, мм	175×70×45

Принцип действия измерителя «ПДСВ» основан на измерении времени распространения ультразвука по направлению потока воздуха и против него, что находится в функциональной зависимости от величины скорости воздушного потока. Чувствительным элементом измерителя является измерительный канал с размещенными в нем пьезоэлектрическими преобразователями, которые собраны в измерительную головку. Конструктивно измеритель состоит из электронного блока и измерительной головки.

Таблица 4.3 – Технические характеристики «ПДСВ»

Наименование параметра	Значение
Пределы измерения скорости воздуха, м/с	0,1-30
Допускаемая основная абсолютная погрешность (D_0) при измерении скорости воздушного потока (V), м/с	$\pm (0,1+0,03 \cdot V)$
Допускаемая дополнительная погрешность за счет изменения температуры окружающей и контролируемой сред от нормальной на каждые $10\text{ }^\circ\text{C}$, м/с	$0,5 \cdot \Delta 0$
Время установления показаний, с, не более	32
Время непрерывной работы без подзарядки, ч, не менее	15
Габаритные размеры корпуса электронного блока (длина x ширина x высота), мм, не более	200×95×50
Габаритные размеры корпуса измерительной головки (длина x ширина x высота), мм, не более	100×70×40
Масса, кг, не более	1,5

Результаты испытаний приведены в таблице 4.4. Следует пояснить некоторое различие в данных по запыленности, полученных при помощи двух пылемеров. Максимальное время одного замера прибором «ПКА-01» составляет 3 минуты, т.е. он может зафиксировать только пиковую концентрацию пыли в определенный момент. При повышении запыленности и соответствующем увеличении аэродинамического сопротивления фильтра, установленного в пылемере, время замера уменьшалось. Поэтому замеры запыленности при помощи ПКА-01 проводились от начала цикла резки угля комбайном КП-21 и до его окончания только с перерывом на замену фильтров. Тем не менее, получается, что измерения носят дискретный характер. Приведенные усредненные значения запыленности по результатам двух резок для одного вида смачивателя, продолжительность

каждой из которой составляла около 25 минут, можно считать с некоторой погрешностью максимально-разовыми концентрациями. Стоит отметить, что фактическая запыленность зависела от интенсивности резки и от того, шел комбайн по углю или породе. Максимальная запыленность наблюдалась при работе комбайна по породе и максимальной скорости вращения шнека.

Таблица 4.4 – Результаты натуральных испытаний

№ п/п	Наименование выработки	Место замера запыленности воздуха	Скорость воздуха, м/с	Выполняемая работа	Прибор для измерения	Массовая концентрация пыли, мг/м ³ при использовании смачивателя			
						Эльфор-М	Опытного смачивателя		
1	Магистр. конв. штрек 19-01	На рабочем месте машиниста комбайна	0,66	резка по углю	ПКА-01	11,0	161,2	4,6	142,8
2			0,66	резка по углю	ПКА-01	14,1		8,1	
3			0,66	резка по углю	ПКА-01	54,7		8,2	
4			0,66	резка по углю	ПКА-01	61,2		20,5	
5			0,66	резка по породе	ПКА-01	164,3		40,8	
6			0,66	резка по породе	ПКА-01	177,5		188,7	
7			0,66	резка по породе	ПКА-01	190,1		197,0	
8			0,66	резка по породе	ПКА-01	198,2		209,7	
9			0,66	резка по породе	ПКА-01	218,9		219,4	
10			0,66	резка по породе	ПКА-01	227,3		252,6	
11			0,66	резка по породе	ПКА-01	230,9		278,9	
12			0,66	резка по породе	ПКА-01	386,7		284,7	
13			0,66	резка по углю /породе	СР-10	224,0		188,8	
14	Магистр. конв. штрек 19-01	В 30 м от комбайна	0,32	резка по углю	ПКА-01	16,8	118,4	0,3	105,8
15			0,32	резка по углю	ПКА-01	42,2		0,6	
16			0,32	резка по углю	ПКА-01	50,5		5,2	
17			0,32	резка по углю	ПКА-01	71,9		13,1	
18			0,32	резка по углю	ПКА-01	-		18,8	
19			0,32	резка по углю	ПКА-01	-		37,9	
20			0,32	резка по углю	ПКА-01	-		43,7	
21			0,32	резка по породе	ПКА-01	227,3		140,9	
22			0,32	резка по породе	ПКА-01	301,5		166,9	
23			0,32	резка по породе	ПКА-01	-		218,6	
24			0,32	резка по породе	ПКА-01	-		227,7	
25			0,32	резка по породе	ПКА-01	-		395,9	
26			0,32	резка по углю /породе	СР-10	160,0		143,6	

Параллельно замерам, проводимым при помощи «ПКА-01», концентрация пыли в течение всего технологического цикла измерялась непрерывно в течение 25 минут прибором «СІР-10». После каждого измерения пористый фильтр с осевшей пылью помещался в герметичный контейнер и взвешивался на аналитических весах в лаборатории по выезду из шахты.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что эффективность разработанного смачивателя по сравнению со смачивателем «Эльфoр-М» составила от 10,3 % до 15,7 %:

- при замерах на месте машиниста комбайна эффективность равна 11,5 % (при использовании «ПКА-01») и 15,7 % (при использовании «СІР-10»);
- при замерах в 30 м от комбайна эффективность равна 10,6 % (при использовании «ПКА-01») и 10,3 % (при использовании «СІР-10»).

Окончательно стоит полагаться на результаты измерения МРК пыли, сделанные пылемером «СІР-10», имеющим меньшую погрешность измерений.

Дополнительно, на каждой из двух замерных точек – на месте машиниста комбайна и на расстоянии 30 м от него при использовании каждого вида смачивателя отбиралось не менее 3-х проб пыли для оценки динамики дисперсного состава аэрозоля (таблица 4.5). Анализ дисперсного состава производился по уже известной методике, описанной во второй главе. Полученные интегральные кривые (по минусу) дисперсного состава для проб со средним содержанием тонкодисперсных фракций приведены на рисунках 4.4-4.5.

При замерах на рабочем месте машиниста комбайна при использовании в процессе орошения 0,05 %-ного раствора разработанного смачивателя содержание пыли респираторной фракции в воздухе снизилось на 19,1-23,0 %, торакальной фракции – на 23,4-25,9 %. В 30 м от комбайна доля пыли респираторной фракции в воздухе снизилась на 22,5-24,6 %, торакальной фракции – на 20,4-24,8 % [108].

Таблица 4.5 – Результаты анализа дисперсного состава пылевого аэрозоля в подготовительном забое, магистральном конвейерном штреке 19-01 по пласту «Емельяновский» на ПЕ шахта «Полысаевская»

Место замера	№ за-мера	Кол-во час-тиц	Эквивалент-ный диаметр частиц, $d_{эkv.}$, мкм		Дис-пер-сия, σ^2 , мм ²	Сред-нее квадра-тичное откло-нение, σ , мм	Содержание частиц с эквивалентным диаметром по фракциям, γ , %									
			Мини-маль-ный	Макс-имал-ьный			0,656-2,5 мкм	2,5-5 мкм	5-10 мкм	10-35 мкм	35-100 мкм	100-1000 мкм	0,1-10 мкм	0,1-35 мкм	Сред-нее 0,1-10 мкм	Сред-нее 0,1-35 мкм
при использовании смачивателя «Эльфор-М»																
На месте машиниста комбайна	1	5633	0,656	805	0,323	0,0397	44,6	16,6	14,4	22,8	1,5	0,1	75,6	98,4	75,3	98,9
	2	5326	0,656	780	0,304	0,0433	41,9	17,1	15,3	25,0	0,5	0,2	74,3	99,3		
	3	6010	0,656	714	0,254	0,0514	43,1	16,5	16,5	23,0	0,8	0,1	76,1	99,1		
В 30 м от комбайна	4	5217	0,656	680	0,231	0,0548	33,8	14,5	14,8	19,2	12,3	5,4	63,1	82,3	63,8	83,0
	5	3844	0,656	635	0,201	0,0583	34,5	15,1	13,2	20,1	12,5	4,6	62,8	82,9		
	6	4326	0,656	740	0,273	0,0485	34,9	14,8	15,7	18,4	10,0	6,2	65,4	83,8		
при использовании разработанного состава																
На месте машиниста комбайна	7	5497	0,656	920	0,423	0,0189	22,2	15,5	20,5	14,7	19,4	7,7	58,2	72,9	59,2	74,6
	8	5612	0,656	883	0,389	0,0263	23,8	14,3	22,0	16,0	17,8	6,1	60,1	76,1		
	9	4886	0,656	911	0,414	0,0207	22,4	16,6	20,2	15,6	18,6	6,6	59,2	74,8		
В 30 м от комбайна	10	3881	0,656	703	0,247	0,0526	14,7	13,3	19,6	14,3	23,6	14,5	47,6	61,9	48,8	64,4
	11	5427	0,656	655	0,214	0,0569	15,9	14,5	18,3	15,8	20,9	14,6	48,7	64,5		
	12	6001	0,656	696	0,242	0,0533	15,0	14,9	20,1	16,7	21,2	12,1	50,0	66,7		

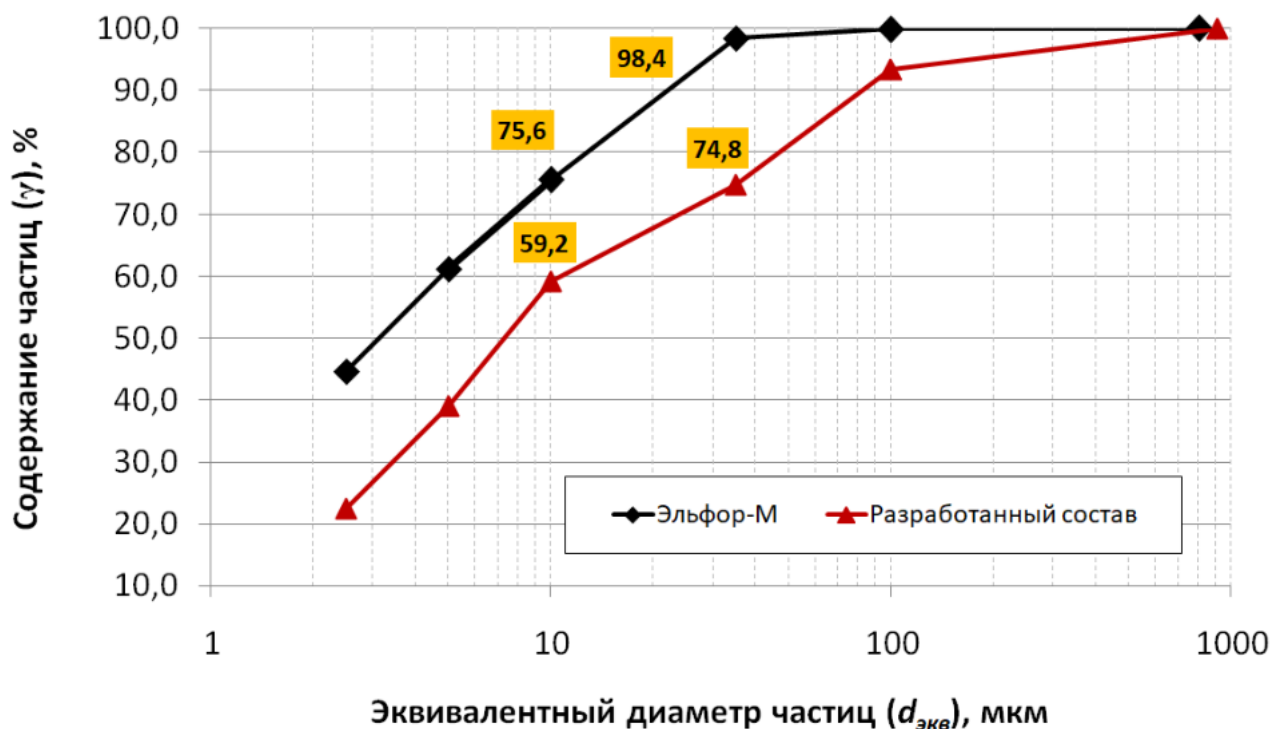


Рисунок 4.4 – Интегральные кривые (по минусу) дисперсного состава витающей угольной пыли на месте машиниста комбайна в подготовительном забое шахты «Полысаевская» при использовании различных смачивателей

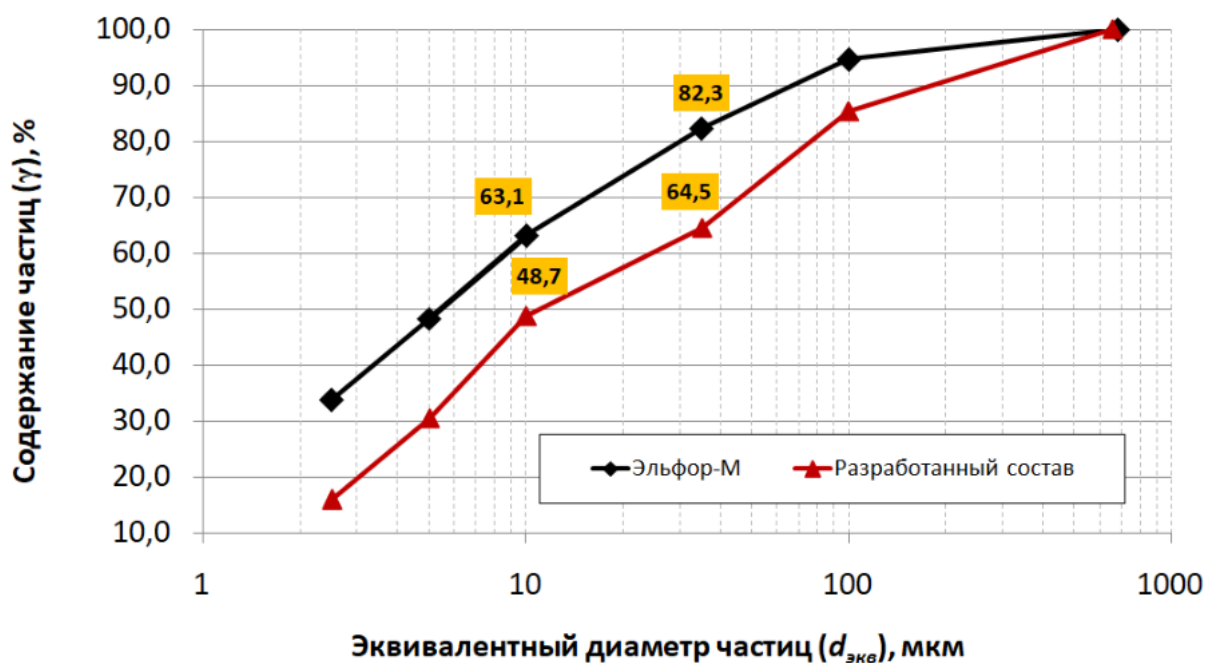


Рисунок 4.5 – Интегральные кривые (по минусу) дисперсного состава витающей угольной пыли в 30 м от комбайна в подготовительном забое шахты «Полысаевская» при использовании различных смачивателей

С учетом измеренных значений запыленности, концентрация респирабельной фракции уменьшилась на рабочем месте машиниста комбайна со 168,7 мг/м³ до 111,7 мг/м³, на расстоянии 30 м от комбайна – с 102,0 мг/м³ до 70,0 мг/м³. Концентрация торакальной фракции уменьшилась на рабочем месте машиниста комбайна с 221,6 мг/м³ до 140,8 мг/м³, на расстоянии 30 м от комбайна – с 132,8 мг/м³ до 92,4 мг/м³.

Таким образом, использование смачивателя на основе неионных и амфотерных ПАВ позволило с учетом снижения общей запыленности уменьшить содержание тонкодисперсных фракций в пылевом аэрозоле на 30,4-36,4 %.

4.2 Рекомендации по снижению содержания тонкодисперсных фракций в воздухе очистных и подготовительных забоев

Исходя из положительных результатов лабораторных и шахтных испытаний разработанного состава смачивателя на основе аклиполиглизидов, можно рекомендовать его для применения в процессе орошения в шахтных условиях. Как показали исследования, его водные растворы позволяют повысить скорость смачивания витающих частиц пыли и снизить как их концентрацию в целом, так и содержание отдельных тонкодисперсных фракций. Смачиватель не расслаивается, не меняет в шахтных условиях своих свойств: вязкость, цвет, пенообразующую и смачивающую способность.

Эффективность пылеподавления зависит не только от типа применяемого смачивателя, но и от правильного его дозирования, от интенсивности и режима ведения горных работ, пылеобразующей способности угля и вмещающих пород, их соотношения при отработке, исправности средств гидроорошения и иных средств комплексного обеспыливания.

При выборе оптимальной концентрации смачивателя нужно учитывать особенности смачивания конкретных шахтопластов, а не только углей отдельных марок, необходимо стремиться максимально сократить время смачивания пылевидных фракций, учитывая допустимые пределы повышения концентрации ПАВ и размер приемлемых для предприятия затрат на их применение.

Следует обратить внимание на правильность дозирования смачивателя в шахтных условиях, а также возможности дозирующего оборудования по обеспечению необходимых расчетных концентраций и их быстрой корректировке при изменении пылевой обстановки. При ведении работ преимущественно по породе рекомендуется увеличить концентрацию смачивателя.

Для корректного выбора мероприятий и средств обеспыливания можно рекомендовать как проведение непосредственного пылевого контроля в отношении респирабельных и торакальных фракций (сейчас не осуществляется на российских шахтах), так и проведение их прогнозной оценки.

При проведении пылевого контроля для получения достоверных сведений необходимо определить рациональное количество замеров, исходя из особенностей и принципа действия пылемера, его погрешности и факторов на нее влияющих.

Снизить концентрацию тонкодисперсных фракций витающей пыли в воздухе очистных и подготовительных забоев можно не только применяя какие-то новые технические решения, но и поддерживая оптимальный научно-обоснованный режим и интенсивность резания угля (породы), обеспечивая функционирование и исправность форсунок и иных средств обеспыливания и дозирования, применение всех доступных средств пылеподавления и пылезакрепления, а также, своевременный ремонт и замену резцов шнека и иного оборудования, оказывающего влияние на характер разрушения угля.

Необходимо анализировать и зарубежный опыт борьбы с пылью, рассматривать возможность применения в конкретных условиях последних достижений науки и техники в области комплексного обеспыливания, в частности, оборудования аспирационного пылеудаления в очистных забоях, систем Вентури и т.п.

Для возможности промышленного использования предлагаемого смачивателя требуется определить экономическую целесообразность его производства.

4.3 Разработка схемы производства смачивателя и ее технологический расчет

Для определения экономической целесообразности применения разработанного состава смачивателя необходимо учитывать не только стоимость и доступность используемых компонентов, но и затраты на производство смачивателя. Прежде чем произвести экономическую оценку предлагаемого технического решения, необходимо продумать технологическую цепочку изготовления состава, включая место и объемы производства, типы и количество необходимого оборудования, стадийность технологического процесса и продолжительность отдельных операций, оборудование и помещения для хранения готовой продукции, численность персонала.

В состав предлагаемого к использованию смачивателя входят поверхностно-активные вещества неионного типа – децилглюкозид (основное), кокоглюкозид (вспомогательное) и амфотерного типа – кокамидопропилбетаин, основные свойства которых приведены в таблице 4.6, и вода.

Таблица 4.6 – Основные характеристики компонентов смачивателя

№ п/п	Наименование свойства	Децилглюкозид	Кокоглюкозид	Кокамидопропилбетаин
1.	Внешний вид	Светло-желтая жидкость		Прозрачная или слегка мутная жидкость желтоватого цвета
2.	Запах	Слабый характерный		
3.	Молярная масса, г/моль	320,426	324,426	342,288
4.	Плотность, г/мл	1,07-1,08	1,1-1,2	1,043
5.	Содержание активного вещества, %	50-70	50	35-48
6.	Значение pH (10% раствора при 20 °С)	7,0-12,5	11,5 - 12,5	4,5-5,5
7.	Вязкость (20 °С) МПа.с	1,0-1,1	2,0-2,75	1,2
8.	Степень полимеризации	1,3-1,7	1,3 - 1,5	-
9.	Биоразлагаемость, %	98-99,9		

На основе свойств компонентов и их доли в составе смачивателя была разработана следующая технологическая схема производства (рисунок 4.6), предусматривающая несколько последовательных стадий дробного дозирования ПАВ, разбавления их водой и размешивания.

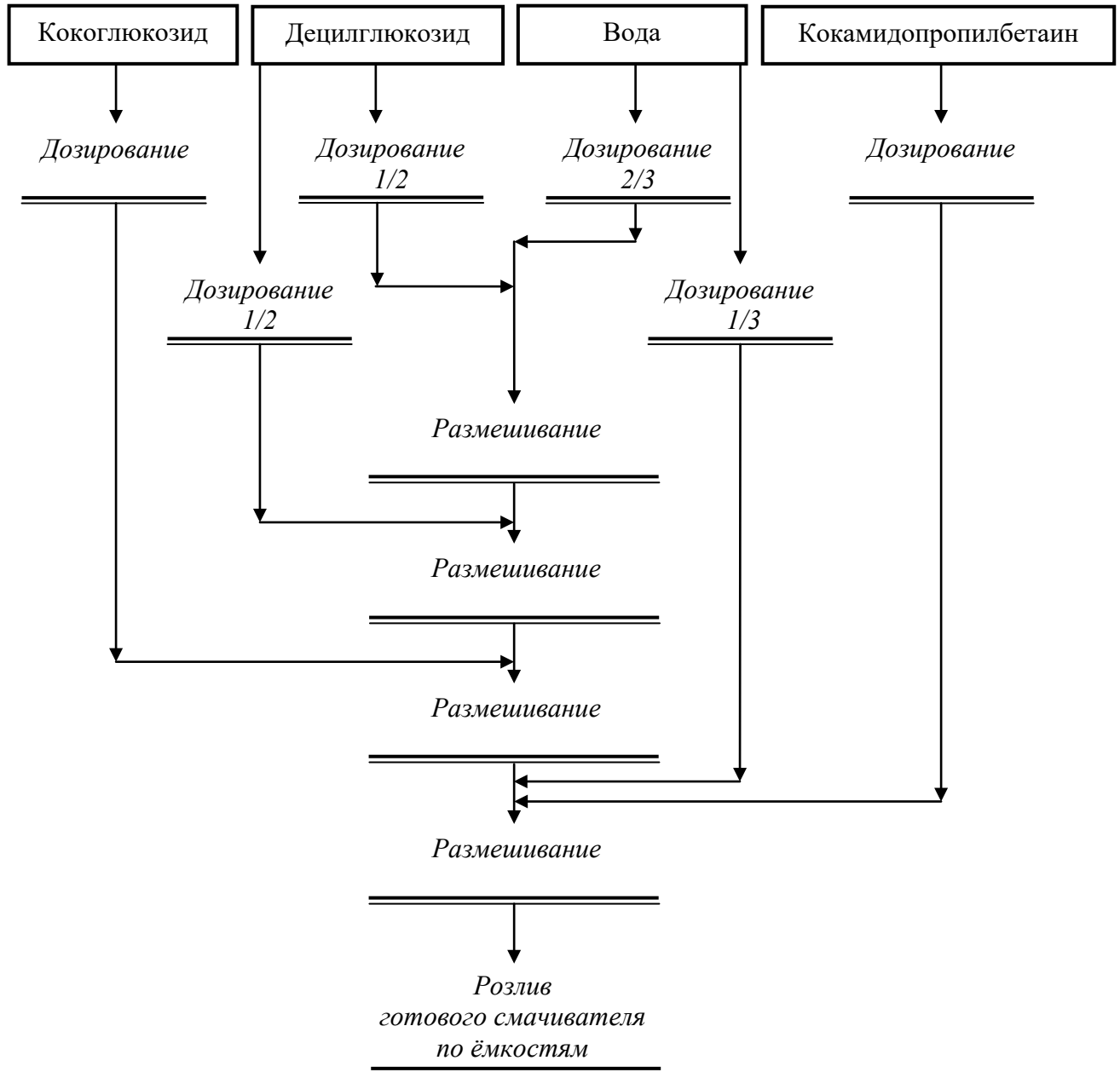


Рисунок 4.6 – Принципиальная технологическая схема производства шахтного смачивателя

В чан с мешалкой подается вода в количестве $2/3$ от всего необходимого объема для получения единицы смачивателя. Затем дозируется $1/2$ часть децилглюкозида и происходит тщательное размешивание. В полученный раствор

после 1-ой стадии размешивания добавляется вторая часть основного ПАВ и происходит повторное размешивание. Перед 3-им этапом размешивания дозируется вспомогательное ПАВ – кокоглюкозид. По истечению расчетного времени размешивания осуществляется дозирование третьего компонента – кокамидопропилбетаина и подается вторая часть воды в количестве $1/3$ от общего требуемого объема. После 4-ой стадии размешивания осуществляется розлив готового смачивателя по емкостям и транспортировка готового продукта на место временного хранения до последующей доставки на шахту, спуска и транспортирования на участок. Время каждой операции размешивания составляет не более 30 минут, на каждую загрузку материалов в аппарат отводится от 15 до 25 минут в зависимости от объема подаваемого ПАВ. На весь технологический цикл производства расчетного количества смачивателя уходит не более 4,5 часов.

Предложенная принципиальная технологическая схема отличается простотой реализации, не требует дорогостоящего высокотехнологичного оборудования, работающего под избыточным давлением. Рассмотренные технологические процессы не требуют значительных затрат времени, поддержания высоких температур или особых условий, не предусматривают использование химических веществ высокого класса опасности. В связи с этим, разработанная технологическая схема может быть реализована непосредственно на базе угледобывающей компании, что позволит сократить затраты на логистику смачивателя помимо прочих расходов.

Основной исходной информацией для технологического расчета является проектная мощность. Примем, что производственная линия будет создаваться на базе АО «СУЭК-Кузбасс» для удовлетворения внутреннего спроса в смачивателе. Исходя из данных проектов комплексного обеспыливания шахт АО «СУЭК-Кузбасс» суммарная ежегодная потребность в смачивателе на семи шахтах Компании составляет около 420 тонн при условии использования для орошения смачивателя с концентрацией рабочего раствора 0,03 % и для предварительного увлажнения – 0,02 %. На основе результатов исследований смачиваемости пыли углей, обрабатываемых в АО «СУЭК-Кузбасс» шахтопластов разработанным

смачивателем и смачивателем «Эльф-М», рекомендуется увеличить концентрацию рабочего раствора до 0,05 %. Тогда расход смачивателя по всем шахтам составит 756,7 тонн в год. С учетом запаса (10 %) принимаем к расчету годовую мощность технологической линии по производству смачивателя, равную 832,3 тонны.

В цеху по производству смачивателя предполагается 3-х сменный режим работы по 8 часов каждая. Перерывы между сменами и остановка оборудования в праздничные и выходные дни не предусматриваются.

Календарный (T_k) и номинальный (T_n) фонд рабочего времени составляет 365 дней в году или 8760 ч.

Эффективный фонд рабочего времени ($T_{эф}$) определяется из формулы (4.1) по разности номинального рабочего времени и времени простоев, связанных с ремонтом оборудования ($T_{пр.}$).

$$T_{эф} = T_n - T_{пр.} = 8760 - 694 = 8066 \text{ часов или 336 дней} \quad (4.1)$$

В качестве основного оборудования или аппарата, нуждающегося в систематичном осмотре и ремонте, рассматривается чан контактный, используемый для перемешивания компонентов смачивателя.

Для данного оборудования планируется один раз в год проведение капитального ремонта продолжительностью 188 ч и дважды в месяц за вычетом одного раза в месяц, в котором проводится капитальный ремонт, – текущего ремонта продолжительностью каждого 22 часа. Отсюда общее время простоя оборудования составит:

$$T_{пр.} = K \cdot T_0^K + T \cdot T_0^T = 1 \cdot 188 + 23 \cdot 22 = 694 \text{ часов} \quad (4.2)$$

где K – количество капитальных ремонтов; T_0^K – продолжительность одного капитального ремонта; T – количество текущих ремонтов; T_0^T – продолжительность одного текущего ремонта;

Предполагается, что поставка основных реагентов (децилглюкозида, кокоглюкозида и кокамидопропилбетаина) осуществляется в еврокубах с металлическим поддоном, имеющих размеры 1200×1000×1150.

Для определения площадей для размещения поставляемого сырья были рассчитаны годовые объемы потребления ПАВ:

$$G_{ПАВ(год)} = G_{год} \cdot \sum \gamma_{ПАВ} \quad (4.3)$$

где $G_{ПАВ(год)}$ – общий годовой объем потребления всех ПАВ, необходимых для производства смачивателя; $G_{год}$ – годовая проектная мощность цеха, т/год; $\sum \gamma_{ПАВ}$ – суммарная доля растворов ПАВ в составе смачивателя.

С целью уменьшения площадей для размещения и хранения сырья, а также планирования периодичности его поставок, были рассчитаны объемы ПАВ, необходимые для обеспечения месячной, квартальной и полугодовой работы цеха. С учетом объемов единовременных поставок ПАВ в еврокубах и площади еврокубов с оставлением зазоров с 2-х сторон по 20 см, были рассчитаны минимальные площади помещения, необходимо для размещения еврокубов в 1 и 2 яруса.

Результаты расчетов приведены в таблицах 4.7 и 4.8.

Таблица 4.7 – Объемы потребления ПАВ для производства смачивателя

Наименование ПАВ	Годовой объем расходуемых ПАВ, м ³	Полугодовой объем расходуемых ПАВ, м ³	Квартальный объем расходуемых ПАВ, м ³	Месячный объем расходуемых ПАВ, м ³
Децилглюкозид	416,158	222,942	111,471	37,157
Кокоглюкозид	124,847	66,882	33,441	11,147
Кокамидопропил-бетаин	41,616	22,294	11,147	3,716
ИТОГО	582,621	312,118	156,059	52,020

Таблица 4.8 – Расчет площадей для размещения поставляемого сырья

Тип расположения еврокубов	Минимальная площадь, необходимая для размещения сырья, м ² при единовременной поставке			
	годового объема расходуемых ПАВ	полугодового объема расходуемых ПАВ	квартального объема расходуемых ПАВ	месячного объема расходуемых ПАВ
в 1 ярус	979	489	245	82
в 2 яруса	489	245	122	41

Из приведенных данных следует, что наиболее приемлемым вариантом является поставка сырья один раз в квартал. При единовременной поставке ПАВ больших объемов требуются значительные площади для размещения, что является экономически нецелесообразным.

Для постоянного хранения запасов привозимых ПАВ и обеспечения их равномерной и бесперебойной подачи в основной смешивающий аппарат предложены к размещению на территории цеха горизонтальные стальные резервуары РГСН, состоящие из цилиндрического корпуса, выполненного из листовой стали, обечайки с внутренними ребрами жесткости, диафрагмы, конических торцевых частей, днища [58].

Расчет необходимого количества резервуаров выполнялся по следующей формуле:

$$n = \frac{V_c \cdot K_3}{V_{ап} \cdot \varphi} \quad (4.4)$$

где V_c – суточный расход реагента, л/сут; K_3 – коэффициент запаса сырья, сут; $V_{ап}$ – объем аппарата, л; φ – степень заполнения резервуара, дол. ед.

Степень заполнения резервуара принимается для данного вида оборудования равной 0,9 или 90 % от номинального объема. Коэффициент запаса сырья равен 90 суток.

Для хранения децилглюкозида выбираем два резервуара: РГС-75 и РГС-50, объединенных в одну систему с общим номинальным объемом 125 м³. Данный объем позволяет вместить весь 3-х месячный запас децилглюкозида:

$$n = \frac{1239 \cdot 90}{125000 \cdot 0,9} = 0,99 < 1 \quad (4.5)$$

Для хранения кокоглюкозида принят один резервуар РГС-50:

$$n = \frac{372 \cdot 90}{50000 \cdot 0,9} = 0,74 < 1 \quad (4.6)$$

Для хранения кокаמידопропилбетаина были рассмотрены два варианта резервуаров.

В одном случае РГС-10:

$$n = \frac{124 \cdot 90}{10000 \cdot 0,9} = 1,24 > 1 \quad (4.7)$$

Во втором случае РГС-25:

$$n = \frac{124 \cdot 90}{25000 \cdot 0,9} = 0,5 < 1 \quad (4.8)$$

Окончательно принимаем 1-ый вариант, при условии, что 2-3 м³ кокаמידопропилбетаина будет временно находиться в еврокубах и перекачиваться по мере освобождения места в резервуаре, т.к. если выбрать резервуар РГС-25, то он будет всегда наполовину пуст, а затраты на его приобретение и эксплуатацию выше.

Для дозирования и перекачки компонентов взяты дозирочные плунжерные насосы НД, которые широко применяются для объемного напорного дозирования нейтральных, токсичных, агрессивных, легковоспламеняющихся и взрывоопасных жидкостей, многокомпонентных растворов, суспензий и эмульсий с высокой кинематической вязкостью и плотностью. К числу их достоинств также можно отнести высокую точность дозирования и производительность, надежность эксплуатации, компактность, ремонтпригодность, простоту монтажа и ремонта.

При дозировании децилглюкозида нужно учесть его суточный расход, который составляет 1 239 л/сут. С учетом количества операций или циклов, равного 5, нужно обеспечить подачу основного ПАВ на одну операцию (цикл) в количестве 247,71 л. Суммарное время дробной подачи децилглюкозида в одну

операцию составляет около 50 минут (0,83 ч). Отсюда следует, что для подачи необходимого количества компонентов на стадию размешивания нужен насос, обеспечивающий подачу не менее 297,3 л/час. Для дозирования децилглюкозида принимаем дозирующий насос НД 1,0 300/5 К13А с номинальной подачей 300 л/час и мощностью 0,37 кВт. По аналогичному принципу для дозирования кокоглюкозида выбираем насос НД 1,0 250/6 К13А с номинальной подачей 250 л/час. На данной стадии нужно обеспечить подачу кокоглюкозида в количестве не менее 372 л/сут, не менее 74 л на одну операцию, и с учетом времени дозирования (20 мин.) обеспечить подачу не менее 222,9 л/час. Для дозирования кокамидопропилбетаина с расходом не менее 124 л/сут. при условии подачи в течении 15 мин. на каждую из 5 операций принимаем НД 1,0 100/10 К13А с номинальной подачей 100 л/час и мощностью 0,25 кВт.

Для определения типоразмера и количества основного оборудования для перемешивания была определена суточная производительность цеха по формуле:

$$G_{сут.} = \frac{G_{год}}{n_{год}} = \frac{832,32}{366} = 2,477 \text{ т/сутки} \quad (4.9)$$

Исходя из суточной производительности цеха и процентного соотношения компонентов при смешивании, были определены расходы компонентов на каждой стадии и в сутки в целом (таблица 4.9). С учетом продолжительности одной стадии, составляющей, 4,5 ч, количество производственных операций (β) на основной стадии принято равным 5:

$$\beta = \frac{24}{\tau_{оп}} = \frac{24}{4,5} = 5,3 \quad (4.10)$$

Таблица 4.9 – Расход сырья на одну стадию и на одни сутки

Наименование вида сырья	Суточный расход, т/сут	Расход на одну операцию, т	Расход на одну операцию, (кг) л
Децилглюкозид	1,239	0,248	247,71
Кокоглюкозид	0,372	0,074	74,31
Кокомидопропилбетаин	0,124	0,025	24,77
Вода	0,743	0,149	148,63
ИТОГО	2,477	0,495	495,43

Таким образом, суммарное количество перемешиваемой массы на одной операции основной стадии составит 495,43 (кг) л.

Расчет необходимого числа основных аппаратов производился с учетом объема основного аппарата V_{an} :

$$n = \frac{V_c \cdot (1 + z) \cdot \tau_{on}}{24 \cdot V_{an} \cdot \varphi} \quad (4.11)$$

где V_c – суточный объем перемешиваемой массы, л/сут; z – коэффициент запаса производительности аппарата; τ_{on} – продолжительность стадии, ч; V_{an} – объем аппарата, л; φ – степень заполнения аппарата, дол. ед. или %.

В качестве основного аппарата для перемешивания компонентов принимается чан контактный с мешалкой. С учетом коэффициента запаса, равного для данного типа оборудования 5 %, и степени заполнения, составляющей 70 % для технологических процессов, не предусматривающих разогрев химических веществ [61], принимаем к установке один чан контактный КЧ-08 с объемом камеры 0,8 м³:

$$n = \frac{2477 \cdot (1 + 0,05) \cdot 4,5}{24 \cdot 800 \cdot 0,7} = 0,87 < 1 \quad (4.12)$$

Как видно из расчетов, для ведения технологического процесса смешивания в 5 стадий по 4,5 ч одного контактного чана КЧ-08 будет достаточно.

4.4 Технико-экономическое обоснование технологической линии производства шахтного смачивателя

Экономическая оценка технологической линии производства смачивателя включала расчет затрат на приобретение и эксплуатацию оборудования, расходы на закупку и доставку сырья, амортизационные отчисления, оплату труда, расходы на электроэнергию, воду и другие.

Считаем, что технологическая линия производства смачивателя расположена на базе одного из действующих цехов АО «СУЭК-Кузбасс». Поэтому затраты на строительство и эксплуатацию здания цеха при расчете

расходов на введение в работу и эксплуатацию основных фондов в дальнейших расчетах не учитываем. В случае необходимости строительства отдельного здания цеха с максимальной площадью не более 288 м² и объемом 3456 м³ расходы дополнительно составят 5,7 млн. руб. Типовое здание цеха имеет ширину – 12 м, длину – 24 м, высоту – 12 м, с двумя пролетами по 6 м каждый, установленными с шагом 6 м.

Расчеты затрат на приобретение и техническое обслуживание технологического оборудования для обеспечения требуемой мощности технологической линии производства смачивателя на основании данных предыдущего раздела приведены в таблицах 4.10-4.11.

При планировании затрат на приобретение, монтаж и техническое обслуживание оборудования были рассчитаны другие виды расходов, связанных с эксплуатацией основных фондов (таблица 4.12).

Расчеты фактического баланса времени работы рабочего представлены в таблице 4.13.

Таблица 4.10 – Калькуляция стоимости оборудования

№ п.п.	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Стоимость, руб.	Общая стоимость, руб.
1	Резервуар горизонтальный стальной наземный РГС-75	1	480 000,00	480 000,00
2	Резервуар горизонтальный стальной наземный РГС-50	2	280 000,00	560 000,00
3	Резервуар горизонтальный стальной наземный РГС-10	1	95 000,00	95 000,00
4	Дозировочный насос НД 1,0 300/5 К13А	1	75 000,00	75 000,00
5	Дозировочный насос НД 1,0 250/6 К13А	1	70 000,00	70 000,00
6	Дозировочный насос НД 1,0 100/10 К13А	1	45 000,00	45 000,00
7	Насос погружной	2	30 000,00	60 000,00
8	Шкаф управления насосом НД	1	250 000,00	250 000,00
9	Чан контактный КЧ-08	1	300 000,00	300 000,00
	ИТОГО			1 935 000,00

Таблица 4.11 – Калькуляция затрат на приобретение, монтаж и обслуживание оборудования

№ п.п.	Наименование расходов	Стоимость, руб.
1	Общая стоимость принятого к установке оборудования	1 935 000,00
2	Неучтенное оборудование (15 % от стоимости оборудования)	290 250,00
3	Итого	2 225 250,00
4	Транспортные и складские расходы (8 % от суммарных затрат на оборудование)	178 020,00
5	Итого	2 403 270,00
6	Затраты на монтаж оборудования	360 490,50
7	Расходы на прокладку и монтаж трубопроводов	480 654,00
8	КИП и их монтаж	480 654,00
9	Специализированные работы	240 327,00
	Всего	3 965 395,50

Таблица 4.12 – Калькуляция расходов, связанных с эксплуатацией основных фондов (оборудования)

№ п.п.	Наименование расходов	Стоимость (сумма), руб.
1	Основные фонды (оборудование)	3 965 395,50
2	Оборотные средства (12 % от стоимости оборудования)	475 847,46
	Капитальные затраты	4 441 242,96

Таблица 4.13 – Баланс времени работы одного рабочего в днях

№ п/п	Наименование затрат времени	Количество, дней
1.	Календарное время	365
2.	Выходные дни	91
3.	Праздничные дни	-
4.	Номинальный фонд рабочего времени	274
5.	Невыходы:	
	- по причине отпуска	24
	- по болезни	9
	- из-за выполнения поручений руководства и иным причинам	2
	Время работы одного рабочего (в среднем)	239

Численность работников определялась по количеству оборудования и аппаратуры, нуждающегося в обслуживании. В цех технологической линии производства смачивателя требуется один аппаратчик производства смачивателя – на процессы размешивания, один аппаратчик подготовки сырья и приема готовой продукции, один механик, осуществляющий контроль, уход за оборудованием, а также его ремонт, и один инженер-технолог, совмещающий работу лаборантом и руководителем цеха. Коэффициент перехода от явочного числа к списочному $K = 336/239 = 1,41$. Расчет численности рабочих и персонала, а также фонда оплаты труда приведены в таблицах 4.14-4.15.

Таблица 4.14 – Расчет численности рабочих

№ п.п.	Наименование профессии	Расчет числа рабочих				
		Число рабочих в смену, чел.	Число смен в сутки	Явочное число рабочих, чел	Подмена и замена невыходов	Списочное число рабочих, чел.
1	Основные рабочие (аппаратчики):	2	3	6	2	8
2	Вспомогательные рабочие (механик)	1	3	3	1	4
	Итого			9	3	12

Таблица 4.15 – Расчет фонда оплаты труда

№ п.п.	Рабочие	Списочное число	Средняя зарплата одного рабочего в месяц	Годовой фонд оплаты труда
1. Производственные рабочие				
1	Аппаратчик подготовки сырья и приема готовой продукции	4	25 000,00	1 200 000,00
2	Аппаратчик производства смачивателя	4	20 000,00	960 000,00
	Итого	8		2 160 000,00
2. Вспомогательные рабочие				
Для обслуживания оборудования и обеспечения его исправности				
	Механик	4	25 000,00	1 200 000,00
	Итого по вспомогательным рабочим	4		1 200 000,00
3. Цеховой персонал				
	Инженер-технолог, совмещающий работу лаборантом и руководителем цеха	1	35 000,00	420 000,00
	Итого по цеховому персоналу	1		420 000,00

С учетом норм расхода сырья было рассчитано годовое потребление поверхностно-активных веществ, воды и электроэнергии (таблица 4.16).

Результаты расчета средневзвешенной нормы амортизационных отчислений по оборудованию (таблица 4.17).

Таблица 4.16 – Годовые затраты на сырье и ресурсы

Наименование сырья и ресурсов	Ед. изм.	Расход в год	Цена за ед., руб.	Затраты в год, руб.	Затраты на одну тонну смачивателя, руб.
Децилглюкозид	кг	416 160,00	37,3	15 522 768,00	18 650,00
Кокоглюкозид	кг	124 848,00	88,95	11 105 229,60	13 342,50
Кокаמידопропилбетаин	кг	41 616,00	64	2 663 424,00	3 200,00
Вода	м ³	249,70	25,4	6 342,28	7,62
Электроэнергия	кВт·ч	8 431,40	2,2	18 549,08	22,29
ИТОГО				29 316 312,96	35 222,41

Таблица 4.17 – Расчет средневзвешенной нормы амортизационных отчислений

№ п.п.	Наименование оборудования	Стоимость, руб.	Норма амортизационных отчислений, %	Сумма амортизационных отчислений, руб.
1.	Резервуар горизонтальный стальной наземный РГС-75	480 000,00	10	48 000,00
2.	Резервуар горизонтальный стальной наземный РГС-50	280 000,00	10	28 000,00
3.	Резервуар горизонтальный стальной наземный РГС-10	95 000,00	10	9 500,00
4.	Дозировочный насос НД 1,0 300/5 К13А	75 000,00	12	9 000,00
5.	Дозировочный насос НД 1,0 250/6 К13А	70 000,00	12	8 400,00
6.	Дозировочный насос НД 1,0 100/10 К13А	45 000,00	12	5 400,00
7.	Насос погружной	30 000,00	12	3 600,00
8.	Шкаф управления насосом НД	250 000,00	15	37 500,00
9.	Чан контактный КЧ-08	300 000,00	20	60 000,00
Итого				209 400,00

На основании данных таблицы 4.18 рассчитана средневзвешенная норма амортизационных отчислений:

$$A_{cp} = \frac{A \cdot 100}{C_{об}} = \frac{209400 \cdot 100}{1625000} = 12,89\% \quad (4.13)$$

где A – общая сумма амортизационных отчислений, руб.; $C_{об}$ – общая стоимость основного электрооборудования, руб. С учетом количества оборудования, итоговая сумма амортизационных отчислений составит 511 139,48 руб. в год.

Последующие экономические расчеты приведены в таблицах 4.18-4.19.

Таблица 4.18 – Проектная калькуляция себестоимости продукции

Статьи расходов		Затраты на годовой выпуск, руб.	Затраты на производство 1 т смачивателя, руб.
1	Сырье и материалы	29 316 312,96	35 222,41
2	Заработная плата рабочим	2 160 000,00	2 595,16
3	ЕСН	561 600,00	674,74
4	Расходы на подготовку и освоение производства	216 000,00	259,52
5	Расходы, связанные с эксплуатацией основного оборудования	3 981 646,93	4 783,79
6	цеховые расходы	1 692 180,00	2 033,09
	ИТОГО цеховая себестоимость	37 927 739,89	45 568,70
7	Общезаводские расходы	861 142,69	1 034,63
8	Прочие производственные расходы	155 005,68	186,23
	ИТОГО производственная себестоимость	38 943 888,27	46 789,56
9	Внепроизводственные расходы	778 877,77	935,79
	ВСЕГО полная себестоимость	39 722 766,04	47 725,35

Таблица 4.19 – Калькуляция полной себестоимости одной тонны смачивателя

№ п.п.	Статьи калькуляции	Затраты, руб.	% к итогу
1	сырье, материалы	35 192,50	73,74
2	электроэнергия и вода	29,91	0,06
3	з/пл производственных рабочих + ЕСН	3 269,90	6,85
4	Расходы на подготовку и освоение производства, расходы по содержанию и эксплуатации оборудования, цеховые расходы, износ приспособлений и прочие специальные расходы	7 076,40	14,83
5	общезаводские и прочие производственные расходы	1 220,86	2,56
6	внепроизводственные расходы	935,79	1,96
	ИТОГО полная себестоимость	47 725,35	100

Для оценки экономической эффективности предлагаемой технологической линии по производству смачивателя были рассчитаны уровень рентабельности, срок окупаемости и коэффициент общей экономической эффективности.

Рентабельность производства (\mathcal{E}_ϕ) рассчитывалась на основе данных по годовой валовой прибыли (Π_ϕ), стоимости основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств (O_n) и косвенных капитальных затрат (K_κ):

$$\mathcal{E}_\phi = \frac{\Pi_\phi}{(\Phi_o + O_n) \cdot (1 + K_\kappa)} \cdot 100 \quad (4.14)$$

Годовая валовая прибыль (Π_ϕ) определялась по формуле:

$$\Pi_\phi = (Ц - C) \cdot B \quad (4.15)$$

где $Ц$ – цена одной тонны смачивателя, руб.; C – полная себестоимость одной тонны смачивателя, руб.; B – годовой выпуск (реализация) продукции, т.

Налог на прибыль принимался равным 24 %. Чистая прибыль равна валовой прибыли за вычетом налогов.

Рентабельность продукции рассчитывалась по формуле как отношение валовой прибыли (Π_ϕ) от реализации продукции к ее полной себестоимости (C_2):

$$\mathcal{E}_{np} = \frac{\Pi_\phi}{C_2} \cdot 100 \quad (4.16)$$

где Π_ϕ – валовая прибыль от реализации смачивателя, руб.; C – полная себестоимость годового производства смачивателя, руб.

Срок окупаемости инвестиций (T) определялся как:

$$T = \frac{K \cdot (1 + K_\kappa)}{\Pi_\phi} \quad (4.17)$$

Для расчета коэффициента общей экономической эффективности (E) была использована формула:

$$E = \frac{\Pi_\phi}{K \cdot (1 + K_\kappa)} \quad (4.18)$$

Основные результаты технико-экономического расчета сведены в таблицу 4.20.

Также был проведен сравнительный анализ экономического эффекта от производства и использования разработанного смачивателя (таблица 4.21).

Таблица 4.20 – Основные технико-экономические показатели технологической линии по производству смачивателя

№ п.п.	Показатель	Значение
1	Годовой выпуск продукции, т	832,32
2	Численность работников, чел.	13
3	Производительность труда на одного работника, т/чел в год	64,02
4	Капитальные затраты, руб.	4 441 242,96
5	Полная себестоимость одной тонны смачивателя, руб.	47 725,35
6	Стоимость одной тонны смачивателя, руб.	51 066,1
7	Полная себестоимость годового выпуска смачивателя, руб.	39 722 766,04
8	Валовая прибыль от реализации, руб.	2 780 593,62
9	Рентабельность производства, %	56,92
10	Рентабельность продукции, %	7
11	Срок окупаемости капитальных затрат, лет	1,76
12	Коэффициент общей экономической эффективности (Е)	0,57

Таблица 4.21 – Сравнительные данные по затратам на использование используемого и разработанного смачивателя

Показатель	Эльфор-М (стоимость)	Разработанный состав (стоимость)	Разработанный состав (себестоимость)
Стоимость 1 т смачивателя, руб.	55	51	47,7
Годовые затраты на смачиватель при использовании 0,05 %-ного рабочего раствора, руб.	45 777 600	42 448 320	39 722 766
Экономия, руб.		3 329 280	6 054 834

Укрупненные расчеты показали, что экономия при использовании предлагаемого смачивателя на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» составит от 5,4 до 6 млн. руб. в год. Реализация смачивателя еще и другим угольным компаниям в объеме, равном рассчитанной годовой мощности предприятия, позволит получать дополнительно ежегодно более 2,1 млн. руб. чистой прибыли при рентабельности продукции 7%. При увеличенном уровне рентабельности продукции размер прибыли пропорционально возрастает.

Невысокий срок окупаемости – не более 2-х лет, а также высокий уровень рентабельности производства – более 55% свидетельствуют о целесообразности реализации предложенной технологической линии.

4.5 Выводы по четвертой главе

1. Натурные испытания разработанного шахтного смачивателя подтвердили его эффективность как в снижении общей запыленности в забое, так и наиболее опасной для человека витающей тонкодисперсной пыли. Применение в процессе орошения смачивателя на основе неионных и амфотерных поверхностно-активных веществ с концентрацией раствора 0,05 % позволяет снизить по сравнению с применяемым на шахтах аналогом МРК на 10,3-15,7 %, содержание в воздухе пыли респирабельной фракции – на 19,1-24,6 %, торакальной – на 20,4-25,9 %.

2. Повысить эффективность пылеподавления в очистных и подготовительных забоях возможно только за счет комплексного подхода, предусматривающего применение водных растворов смачивателя в процессе орошения с учетом его правильного дозирования, регулирование интенсивности и режима резания угля (породы) комбайном, обеспечение своевременного обслуживания и замены стертых или поломанных резцов исполнительного органа комбайна, поддержание в исправном состоянии форсунок и дозирующей техники, применение средств аспирационного пылеудаления и усовершенствованных туманообразующих систем с учетом данных дисперсного состава, получаемых на основе компьютерного моделирования, прогнозной оценки и фактического измерения.

3. Разработана принципиальная схема производства смачивателя, произведены ее технологический расчет и экономическая оценка, свидетельствующие о целесообразности производства смачивателя на базе угледобывающей компании, в частности, АО «СУЭК-Кузбасс». Срок окупаемости капитальных затрат составил менее двух лет, коэффициент общей экономической эффективности – 0,57.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой предлагается новое решение актуальной научной задачи – снижение запыленности и содержания тонкодисперсных частиц в пылевом аэрозоле очистных и подготовительных забоев угольных шахт.

По результатам выполнения диссертационной работы сделаны следующие выводы и рекомендации:

1. Анализ современного состояния условий труда по пылевому фактору показал, что количество рабочих мест с вредными по АПФД условиями труда на российских угольных шахтах достигает 79,2 % и более.

2. Выбор противопылевых мероприятий должен производиться на основе достоверной информации о запыленности и дисперсном составе витающей пыли. Применяемые средства и методы обеспыливания должны иметь комплексный характер, обеспечивая снижение пылеобразования, пылеудаление и пылеподавление.

3. Доказано, что для прогноза запыленности в очистных забоях при отработке мощных пластов и пластов средней мощности может быть использовано линейное уравнение множественной регрессии, учитывающее влияние на концентрацию пыли в пункте замера крепости разрушаемого угля, вынимаемой мощности пласта, времени смачивания взвешенной угольной пыли и производительности комбайна.

4. Установлено, что содержание респирабельных фракций в пылевом аэрозоле очистных забоев варьируется в диапазоне от 50,5 до 91,5 %, торакальных – от 74,6 % до 98,7 %.

5. Для прогнозной оценки содержания в пылевом аэрозоле очистных забоев пыли тонкодисперсных фракций предложена регрессионная модель, учитывающая влияние крепости и влажности добываемого угля, производительности комбайна. Установлено, что непосредственно возле комбайна количество пыли респирабельной и торакальной фракций сильно зависит от времени их смачивания в процессе орошения помимо указанных выше факторов.

6. Предложена методика расчета пылевой нагрузки на органы дыхания работников, учитывающая воздействие пыли респирабельной фракции, применение

которой позволит объективно определить максимально допустимый стаж работы в условиях воздействия АПФД и скорректировать периодичность лечебно-профилактических мероприятий по предупреждению заболеваний пылевой этиологии.

7. Разработан состав шахтного смачивателя на основе наиболее безвредных для человека и полностью биоразлагаемых неионогенных и амфотерных поверхностно-активных веществ.

8. Проведены лабораторные исследования смачиваемости разработанным составом пыли углей, отрабатываемых в АО «СУЭК-Кузбасс» шахтопластов, которые показали, что время смачивания зависит от химического и петрографического состава углей и снижается по сравнению со стандартным смачивателем на 61,4-61,6 % (109-419 с) при концентрации раствора смачивателя, равной 0,02 % и на 13,2-25,0 % (5-7 с) при концентрации 0,1 %. Определена оптимальная концентрация рабочего раствора разработанного смачивателя, составившая для углей марок «Г», «ДГ», «Д» шахт АО «СУЭК-Кузбасс» 0,023-0,04 % (при времени смачивания не более 60 с).

9. В результате шахтных (натурных) испытаний установлено, что применение 0,05 %-ного раствора смачивателя на основе неионогенных и амфотерных ПАВ позволяет снизить по сравнению с применяемым на шахтах аналогом концентрацию пыли в воздухе на 10,3-15,7 %, содержание пыли респирабельной фракции – на 19,1-24,6 % и торакальной фракции – на 20,4-25,9 %.

10. Разработана технологическая схема производства смачивателя, отличающаяся простотой реализации, низкими капитальными и эксплуатационными затратами. Проведено ее технико-экономическое обоснование, свидетельствующее о целесообразности производства смачивателя на базе угледобывающей компании. При проектной мощности 832,32 т/год срок окупаемости составит около 2-х лет, уровень рентабельности производства – более 55 %, экономия – 6 млн. руб. в год.

11. Научные положения диссертации и технические разработки обеспечивают дальнейшее развитие теории и технологии пылеподавления в очистных и подготовительных горных выработках угольных шахт. Диссертационное исследование может получить продолжение при совершенствовании существующих и разработке новых методов комплексного обеспыливания в очистных и подготовительных забоях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артемьев, В.Б. АО «СУЭК» в 2018 году – прогрессивные технологии и инновации на службе производства / В.Б. Артемьев // Уголь. – 2019. – № 3. – С. 4-12.
2. Артемьев, В.Б. АО «СУЭК»: основные итоги работы в 2019 году / В.Б. Артемьев // Уголь. – 2020. – № 3. С. 10-16.
3. Баранов, С.М. Разработка нормативно-методической базы оценки пылевого фактора угольных шахт для снижения профессиональной заболеваемости горнорабочих: дис. ...к.т.н. 05.26.01 / Баранов Самуил Моисеевич. – Кемерово, 2001. – 156 с.
4. Баранов, С.М. Разработка системы управления пылевой безопасностью на предприятиях угольной промышленности / Н.В. Трубицына, С.М. Баранов, В.В. Соболев // Безопасность угольных предприятий: Научные труды НЦ ВостНИИ. Кемерово, 2001. – С. 42-49.
5. 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. – 2с.
6. Бюллетень «Состояние условий труда работников, осуществляющих деятельность по сельскому хозяйству, охоте, лесному хозяйству, добыче полезных ископаемых, в обрабатывающих производствах, по производству и распределению электроэнергии, газа и воды, в строительстве, на транспорте и в связи Российской Федерации в 2015 году». Том 1. – М.: Федеральная служба государственной статистики (Росстат), Главный межрегиональный центр (ГМЦ), опубликовано 25.04.2016. – 106 с.
7. Булгаков, Ю.Ф. Пылевая опасность угольного производства / Ю.Ф. Булгаков, В.Л. Овчаренко // – Донецк: ООО «Цифровая типография» – 2017.– 234 с.

8. Вентцель, Е.С. Теория вероятности и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. М.: Наука, 1988. – 480 с.

9. Воронин, В.Н. Параметры вентиляционной струи для выноса пыли из горных выработок. Борьба с силикозом. / В.Н. Воронин // Сб. статей, – М.: Изд-во АН СССР. – 1953. – Т. 1. – С. 97-114.

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

11. Глинка, Н.Л. Общая химия: Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.И. Ермакова. М.: Интеграл-Пресс, 2005. – 728 с.

12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. Голоскоков, С.И. Разработка метода прогноза пылевой обстановки в угольных шахтах на основе масштабных параметров. дис. ...к.т.н. 05.26.03 / Голоскоков Сергей Иванович. Кемерово – 2004 – 159 с.

16. ГОСТ 32509-2013 «Вещества поверхностно-активные. Метод определения биоразлагаемости в водной среде» – М.: Стандартиформ, 2014, 25 с.

17. ГОСТ Р ИСО 7708-2006 «Качество воздуха. Определение гранулометрического состава частиц при санитарно-гигиеническом контроле» Дата введения 01.11.2006 – М.: «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем». – 2006. – 16 с.

18. Гращенков, Н.Ф. Рудничная вентиляция: справ. / Н.Ф. Гращенков, А.Э. Петросян, М.А. Фролов // М.: Недра, 1988. – 440 с.

19. Дагилис, Е.В. Позиции России на мировом рынке угля: проблемы и перспективы / Е.В. Дагилис // Российский внешнеэкономический вестник. – 2016. – № 5. – С. 104-115.

20. Доклад Александра Новака о Программе развития угольной промышленности на период до 2035 года [Электронный ресурс] // URL: <http://government.ru/news/39032/> (дата обращения 20.11.19).

21. Дрёмов, В.И. Обоснование и выбор комплекса противопылевых мероприятий в угольных шахтах для снижения риска заболевания шахтеров пневмокониозом: дис. ...д.т.н. 05.26.01. / Дремов Виктор Иванович. – М: МГГУ – 2000. – 343 с.

22. Дремук А.П. Коллоидно-химические свойства двойных и тройных смесей ПАВ различной природы: дис. ...к.т.н. 02.00.11 / Дремук Алена Петровна. М.: 2018 – 145 с.

23. Евстратова, К.И. Физическая и коллоидная химия: / К.И. Евстратова, Н.А. Купина, Е.Е. Малахова. М.: Высшая школа, 1990. – 478 с.

24. Ерзин, А.Х. Повышение эффективности пылеподавления при подземной разработке угольных месторождений с использованием поверхностно-активных веществ: дис. ...к.т.н. 05.26.01. / Ерзин Айрат Хакимович. СПб. – 2015. – 148 с.

25. Жмаев, В.В. Пылеподаватель для обработки мелкозернистых материалов: Патент №2690925 Рос. 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.

26. 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.

27. Ищук, И.Г. Анализ состояния запыленности воздуха в очистных забоях угольных шахт Кузбасса / И.Г. Ищук, Д.В. Ботвенко, С.В. Панов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S12. – С. 222-223.

28. Ищук, И.Г. Закономерности изменения запыленности воздуха при различных нагрузках на очистные комбайновые забои (результаты новых исследований) / И.Г. Ищук, Д.А. Трубицына, Д.В. Ботвенко // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № S12. – С. 206-211.

29. Ищук, И.Г. Средства комплексного обеспыливания горных предприятий / И.Г. Ищук, Г.А. Поздняков // – М.: Недра – 1991. – 153 с.

30. Кирин, Б.Ф. Концептуальные основы пылевого контроля на горных предприятиях / Б.Ф. Кирин, В.И. Дрёмов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1992. – № 1. – 12-19 с.

31. Кирин, Б.Ф. К расчету гидроэжекторов. / Б.Ф. Кирин, А.В. Дрёмов // Горный информационно-аналитический бюллетень. М.: Горная книга. – 2009 – № 1. – 194-196 с.

32. 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.

33. 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. – № S10. – С. 122-125.

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

35. Козин, В.З. Теория инженерного эксперимента: учеб. пособие / В.З. Козин, А.Е. Пелевин. – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, – 2013. – 165 с.

36. Конабе, К. Композиция для связывающей пыль обработки: Патент №2391375, Рос. 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.

37. 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 (5-1). – С. 93-102.

38. Корнев, А.В. Исследование дисперсного состава витающей углеродной пыли в очистных забоях угольных шахт Кузбасса / А.В. Корнев, Г.И. Коршунов, М.В. Корнева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – № S6. – С. 120-131.

39. Корнев, А.В. Лабораторные методы определения эффективности шахтных смачивателей / А.В. Корнев, Г.И. Коршунов, М.В. Корнева // Тезисы докладов III международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке». – 2016. – С. 35.

40. Корнев, А.В. Снижение опасности взрывов взвешенной пыли в очистных забоях / А.В. Корнев, Г.И. Коршунов, М.В. Корнева // Сборник тезисов VIII Международная горноспасательная конференция IMRB. – 2017. – С. 69.

41. Корнева, М.В. Изучение дисперсного состава витающей углеродной пыли, образующейся при ведении очистных работ на угольных шахтах Кузбасса / М.В. Корнева, Г.И. Коршунов, А.В. Корнев // Тезисы докладов IV международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке». – 2018. – С. 39.

42. Корнева, М.В. Исследование динамики пылевого аэрозоля угольных шахт для оценки пылевой нагрузки на органы дыхания рабочих / М.В. Корнева, Г.И. Коршунов, А.В. Корнев // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2017. – № 4 (5-1). – С. 103-111.

43. Корнева, М.В. Методика оценки пылевой нагрузки на органы дыхания рабочих угольных шахт на основе учета дисперсного состава пылевого аэрозоля / М.В. Корнева, Г.И. Коршунов // Тезисы докладов III международной научно-практической конференции «Промышленная безопасность предприятий минерально-сырьевого комплекса в XXI веке», 2016. – С. 36.

44. 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 (специальный выпуск 6). – С. 3-10.

45. 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. – 2014. – № ОВЗ. – С. 55-60.

46. 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.

47. 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.

48. Ксенофонтова, А.И. Теория и практика борьбы с пылью в угольных шахтах / А.И. Ксенофонтова, А.С. Бурчаков. М.: Недра, 1965. – 231 с.

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

50. Кудряшов, В.В. Проблемы пылевого мониторинга в угольных шахтах / В.В. Кудряшов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – С. 254-269.

51. Кудряшов, В.В. Разработка приборного обеспечения пылевого контроля в угольных шахтах / В.В. Кудряшов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – С. 512-535.

52. Кузнецов, Д.А. Оптимизация параметров орошения при различных производственных процессах, сопровождающихся пылевыделением, 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.

53. Ланге, К.Р. Поверхностно-активные вещества: Синтез, свойства, анализ, применение. / К.Р. Ланге // СПб: Профессия, 2004. – С. 214. – 240 с.

54. Лобанов, Ф.И. Способ закрепления пылящих поверхностей: Патент №2513786 Рос. 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.

55. Медников, К.П. Турбулентный перенос и осаждение аэрозоля / К.П. Медников. М.: Наука, 1987. – 174 с.

56. МУК 4.1.2468-09.4.1. «Методы контроля. Химические факторы. Измерение массовых концентраций пыли в воздухе рабочей зоны предприятий горнорудной и нерудной промышленности. Методические указания»; Введен 29.04.2009 – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора 2009 – 24 с.

57. Нецепляев, М.И. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах / М.И. Нецепляев, А.И. Любимова, П.М. Петрухин. М.: Недра, 1992. – 298 с.

58. ООО «РостТЭК» [Электронный ресурс] // Промышленные резервуары URL: <https://xn--j1ahffa1f.xn--plai/products/rezervuar-gorizontalnyj-dvustennyj> (дата обращения 29.10.2019).

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

60. Пейч, Л.М. Предотвращение распространения взрывов метана и пыли в угольных шахтах / Л.М. Пейч, Х.Г. Торрент, Н.Ф. Анъез, Х. Мартин М. Эскобар // Записки Горного института. – 2017. – Т. 225. – С. 307-312.

61. Перевалов, В.П. Основы проектирования и оборудования производств тонкого органического синтеза / В.П. Перевалов, Г.И. Колдобский. М.: Химия, 1997. – 288 с.

62. Плакиткина, Л.С. Мировые тенденции развития угольной отрасли / Л.С. Плакиткина, Ю.А. Плакиткин, К.И. Дьяченко // Горная промышленность. – 2019. – №1 (143). – С. 24-29.

63. Подображин, С.Н. Методические особенности оценки шахтопластов и горных машин по пылевому фактору / С.Н. Подображин // Уголь. – 2011. – № 2 (1018). – С. 25-26.

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

65. 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.

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

67. 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.

68. 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.

69. Прогнозы спроса на уголь: видение 2019. Энергетический бюллетень. Аналитический центр при поддержке РФ. – 2019. – № 79. – 28 с.

70. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, разработанный Минэкономразвития России, 420 с. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=144190&fld=134&dst=1000000001,0&rnd=0.034897335319031386#004981311106347386> (дата обращения: 01.11.2019).

71. Прогноз социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 года (одобрен на заседании Правительства РФ 22.11.2018) [Электронный ресурс] // URL: <https://www.economy.gov.ru/material/file/a5f3add5deab665b344b47a8786dc902/prognoz2036.pdf>. (дата обращения 10.11.2019).

72. Перспективы развития угольной промышленности в России [Электронный ресурс] // URL: <https://dprom.online/chindustry/perspektivy-razvitiya-ugolnoj-promyshlennosti-v-rossii/> (дата обращения 20.11.19).

73. Программа развития угольной промышленности России на период до 2030 года, утвержденная распоряжением Правительства РФ от 21.06.2014 № 1099-р. [Электронный ресурс] // URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=LAW&n=322093&fld=134&dst=100008,0&rnd=0.8763271072973349#02843224361250376> (дата обращения: 01.11.2019).

74. Райст, П. Аэрозоли. Введение в теорию / П. Райст. М.: Мир, 1987 – 280 с.

75. РД 52.04.830-2015 «Массовая концентрация взвешенных частиц РМ 10 и РМ 2.5 в атмосферном воздухе. Методика измерений гравиметрическим методом». Санкт-Петербург: Росгидромет. – 2015. – 41 с.

76. Рогалис, В.С. Сочетание воздействия угольной пыли и радиации на здоровье шахтеров / В.С. Рогалис, М.В. Павленко А.А. Шилов // Горный

информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2016. – №3. – С. 109-120.

77. Родионов, В.А. Установление закономерностей процессов агрегации и седиментации каменноугольной пыли для целей повышения взрывопожарной безопасности и охраны труда на угольных шахтах / В.А. Родионов, А.В. Корнев, М.В. Корнева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2019. – специальный выпуск №6. – С. 192-202.

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

79. 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. М.: Изд-во «Горное дело» ООО Киммерийский центр» – 2016. – 288 с.

80. 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.

81. Романченко, С.Б. Пылевая динамика в угольных шахтах / С.Б. Романченко, Ю.Ф. Руденко, В.Н. Костеренко. М.: Изд-во «Горное дело» ООО «Киммерийский центр», – 2011. – 256 с.

82. 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. 2007. – № S12. – С. 256-264.

83. Романченко, С.Б. Современные методы анализа формы и дисперсного состава угольной пыли / С.Б. Романченко, И.Г. Ищук // Техника и технология открытой и подземной разработки месторождений: Науч. сообщ. / ННЦ ГП – ИГД им. А.А. Скочинского. – 2007. – № 333. – С. 270-286.

84. Романченко, С.Б. Пылевая взрывоопасность горного производства / С.Б. Романченко, К.А. Лебецки. М.: Горное дело, – 2012. – 463 с.

85. Россия в цифрах. 2018. Краткий статистический сборник / Росстат – М.: 2018. – 522 с.

86. Руководство по безопасности «Рекомендации по прогнозу и выбору мер, направленных на снижение запыленности рудничного воздуха в угольных шахтах. Серия 05. Выпуск 47. – М : Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» – 2019. – 16 с.

87. 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. Введен 01.11.2005. – 142 с.

88. Рыжкова, О.А. Изучение физико-химических закономерностей биоразлагаемости поверхностно-активных веществ: автореферат дис. ... к.х.н. 03.00.16 / Рыжкова Ольга Алексеевна / Москва. – 2010. – 25 с.

89. СанПин 2.2.3.570-96 «Гигиенические требования к предприятиям угольной промышленности и организации работ», утвержденных приказом №44 Минздрав России от 31.10.1996. Введен 01.07.1998 – 68 с.

90. СанПиН 2.2.4.548-96.2.2.4. «Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений»; Введен 01.10.2001 – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России – 2001. – 20 с.

91. Скопинцева, Е.А. Угольная отрасль становится весьма желанной для инвесторов / Е.А. Скопинцева // «Экономика и жизнь» – 2019. – № 34 (9800) [Электронный ресурс] / URL: <https://www.eg-online.ru/article/405427/> (дата обращения: 10.12.2019).

92. 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. – 2007. – № 12. – С. 44-46.

93. Скопинцева, О.В. Исследование взаимодействий в системе «уголь-жидкость - газ» при увлажнении угольного массива / О.В. Скопинцева // М.:

Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня: «Аэрология» – 2009. – № ОВ 13. – С. 212-221.

94. Скопинцева, О.В. Исследование пылеобразующей способности углей при увлажнении их рабочей жидкостью в режиме капиллярного насыщения / О.В. Скопинцева, А.Ю. Прокопович, Ю.В. Соловьёв // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 9. – С. 68-70.

95. 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. – 2011. – № ОВ 7. – С. 367-370.

96. Сметанин, М.М. Влияние системы пылеподавления паром на микроклимат в рудниках СтКЗ / М.М. Сметанин, А.И. Агошков, И.П. Озерный // II Всесоюзная научно-техническая конференция «Проблемы горной теплофизики. Теплофизика горных выработок». Тезисы докладов. Л., 1981. – С. 40–41.

97. Соболев, В.В. Установление закономерностей процессов пылеобразования при работе высокопроизводительной угледобывающей техники / Автореферат диссертации на соискание ученой степени д.т.н. Соболев Виктор Васильевич / Кемерово, 2002. – 47 с.

98. 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.

99. Таразанов, И.Г. Итоги работы угольной промышленности России за январь-декабрь 2018 года / И.Г. Таразанов // Уголь. – 2019. – № 3. – С. 64-79.

100. 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.

101. Трубицын, А.А. Формирование системы автоматизированного контроля пылевзрывобезопасности горных выработок угольных шахт /

А.А. Трубицын, Н.В. Трубицына Я.С. Ворошилов, С.В. Оленников С.Н. Мусинов Д.А. Трубицына // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2016. – №4. – С. 6-14.

102. Уголь России и мира: производство, потребление, экспорт, импорт [Электронный ресурс] // URL: http://www.cdu.ru/tek_russia/articles/5/499/ (дата обращения 22.11.19).

103. Ушаков, К.З. Рудничная аэрология горных предприятий / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, И.И. Медведев. М.: Недра, 1978. – 440 с.

104. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по локализации и предупреждению взрывов пылегазовоздушных смесей в угольных шахтах», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от «06» ноября 2012 г. № 634. Серия 05. Выпуск 25. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности» – 2013. – 40 с.

105. Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Инструкция по борьбе с пылью в угольных шахтах», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 25.09.2018 № 462. Серия 05. Выпуск 44. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-технический центр исследований проблем промышленной безопасности», 2019. – 64 с.

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

107. Харитонов, И.Л. К вопросу улучшения санитарно-гигиенических условий труда по пылевому фактору рабочих очистных забоев угольных шахт / И.Л. Харитонов, А.В. Корнев, Г.И. Коршунов, М.В. Корнева // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2018. – № S49. – С. 451–463.

108. Харитонов, И.Л. Разработка мероприятий по улучшению пылевой обстановки в очистных забоях угольных шахт / И.Л. Харитонов, А.И. Терёшкин,

А.В. Корнев, Г.И. Коршунов, М.В. Корнева // Безопасность труда в промышленности. – 2019. – № 12. – С. 53-59.

Kharitonov, I.L. Development of measures on the improvement of dust environment in the coal mines working faces / I.L. Kharitonov, A.I. Tereshkin, A.V. Kornev, G.I. Korshunov, M.V. Korneva [Текст] // Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti – 2019. – № 12. – Р. 53-59.

109. Чеботарёв, А.Г. Пылевой фактор и патология органов дыхания работников горнодобывающих предприятий / А.Г. Чеботарёв // «Горная Промышленность». – 2012. – № 3 (103). – С. 24-27.

110. Чеботарёв, А.Г. Риски развития профессиональных заболеваний пылевой этиологии у работников горнорудных предприятий / А.Г. Чеботарёв // «Горная Промышленность». – 2018. – № 3 (139). – С. 66-72.

111. Чеботарёв, А.Г. Специальная оценка условий труда работников горнодобывающих предприятий / А.Г. Чеботарёв // «Горная Промышленность» – 2019. – №1 (143). – С. 42-46.

112. Чеботарев, А.Г. Условия труда, профессиональная заболеваемость и медико-профилактическое обслуживание работников горнодобывающих предприятий / А.Г. Чеботарев, Г.А. Лагутина // Горная Промышленность. – 2014. – № 6 (118). – С. 75-80.

113. Шувалов, Ю.В. Управление пылевыделением на карьерах с использованием фазовых переходов влаги / Ю.В. Шувалов, А.П. Бульбашев, Н.А. Гаспарьян // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – № S1. – С. 127-132.

114. Ютяев, Е.П. Подземная разработка пологих газоносных угольных пластов длинными забоями / Ютяев Е.П. М.: Горная книга, 2017. – 288 с.

115. Яновский, А.Б. «Основные тенденции и перспективы развития угольной промышленности России» / А.Б. Яновский // Уголь. – 2017. – № 8. – С. 10-14.

116. Air quality guidelines: global update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, WHO Regional Ofce for Europe, 2006 [Электронный ресурс] – режим доступа: <http://www.euro.who.int/en/what->

we-do/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/ pre2009/air-quality-guidelines.-global-update-2005.-particulate-matter,-ozone,-nitrogen-dioxide-and-sulfur-dioxide (дата обращения: 08.10.2018).

117. Antao, V.C. Rapidly progressive coal workers' pneumoconiosis in the United States: geographic clustering and other factors. / V.C. Antao, E.L. Petsonk, L.Z. Sokolow, A.L. Wolfe, G.A. Pinheiro, J.M. Hale, M.D. Attfield // *Occup Environ Med.* – 2005. – № 62. – P. 670-674.

118. BP Statistical Review of World Energy, 2019 [Электронный ресурс] // URL: www.bp.com/statisticalreview (дата обращения: 01.11.2019).

119. China NHaFPCotPsRo. The National Occupational Disease Report of 2014. Ministry of Land and Resources of the People's Republic of China; 8, DEC, 2015. Available online: http://www.mlr.gov.cn/xwdt/jrxw/201512/t20151208_1390898.htm (дата обращения: 20.11.2019).

120. 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 – 2010–110 –70 p.

121. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:152:0001:0044:EN:PDF>

122. Fiscor, S. U.S. longwall operators scale back production / S. Fiscor // *Coal Age* – 2016 – №2 – P. 18-22.

123. Griffin, W.C. Classification of surface-active agents by HLB / W.C. Griffin // *Journal of the Society of Cosmetic Chemists* – 1949 – Т. 1 (5) – P. 311-326.

124. Han, L. Prevalence characteristics of coal workers pneumoconiosis (CWP) in a state-owned mine in eastern China./ L Han, R. Han, X. Ji, T. Wang, J. Yang, J. Yuan, Q. Wu, B. Zhu, H. Zhang, B. Ding, C. Ni // *Int J Environ Res Public Health* – 2015 – №12 – P. 7856–7867.

125. 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 – P. 199-208.

126. Жоао, R. Состав ПАВ для подавления: Патент №20080017829, США: МПК С09К 3/22 / заявитель и патентообладатель: Жоао R. – 2008/0017829; заявл.16.07.2007; опубл. 24.01.2008 – 6 с.

127. Johan-Essex, V., Keles, C., Rezaee, M., Scaggs-Witte, M., Sarver, E. Respirable coal mine dust characteristics in samples collected in central and northern Appalachia. *Int. J. Coal Geol.* 2017, vol. 182, P. 85-93.

128. Korneva, M.V. Assessment of the dust load on the respiratory organs of workers in coal mines, taking into account the dispersed composition of the dust aerosol / M.V. Korneva, G.I. Korshunov // *Scientific Reports on Resource Issues Volume 1*, 2017. – P. 416-421.

129. 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. – P. 73–81.

130. Pope, C.A. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution / C.A. Pope, R.T. Burnett, M.J. Thun, E.E. Calle, D. Krewski, K. Ito, G.D. Thurston // *JAMA* – 2002 – №287(9) – P. 1132-1141.

131. Ren, T.G. Development of a water-mist based Venturi system for dust control from maingate chocks and BSL / T. Ren, G. Cooper and S. Yarlagadda // 11th Underground Coal Operators' Conference, University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy – 2011. – P. 239-248.

132. Ren, T.X. Dust controls and monitoring practices on Australian longwalls / T.X. Ren, B. Plush, N. Aziz // 1st International Symposium on Mine Safety Science and Engineering, ISMSSE. – 2011. – P. 1182-1194.

133. Samoli E et al. Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA Study. *Environmental Health Perspectives*. – 2008. – № 116 (11). P. 1480–1486.

134. Soutar, C.A. Dust concentrations and respiratory risks in coalminers: key risk estimates from the British pneumoconiosis field research. / C.A. Soutar,

J.F. Hurley, B.G. Miller, H.A. Cowie, D Buchanan // Occup Environ Med. – 2004. – № 61. – P. 477-481.

135. Wang, M Clinical statistics analysis on the characteristics of pneumoconiosis of Chinese miner population. / M. Wang, R. Li, Y. Li, X. Cheng, J. Yang, W. Chen, X. Fan, H. Pan, X. Yao, T. Ren, X. Qian, L. Liu, E. Leung, Y. Tang // Journal of thoracic Disease. – 2016. – №8 (8). – P. 2203-2211.

136. Wang W.Z. , Wang Y.M. , and Shi G.Q Optical Estimation on Pollution Level of Respirable Dust Based on Infrared Transmitting Behavior in Coal mine Fully Mechanized Working Face Journal of Spectroscopy, Vol. 2016, Article ID 2626414, 13 p.

137. Wang W.Z. , Wang Y.M. , and Shi G.Q. Waveband selection within 400–4000 cm^{-1} of optical identification of airborne dust in coal mine tunneling face. Applied Optics. – 2016. – vol. 55. – № 11. – P. 2951–2959.

138. Xia, Y. Prevalence of pneumoconiosis in Hubei, China from 2008 to 2013. / Y Xia. J. Liu, T. Shi, H. Xiang, Y. Bi // Int J Environ Res Public Health. – 2014. – № 11. – P. 8612–8621.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Акт эксплуатационных испытаний шахтного смачивателя



СУЭК

АКЦИОНЕРНОЕ
ОБЩЕСТВО
«СУЭК-КУЗБАСС»

УТВЕРЖДАЮ:

Главный инженер
АО «СУЭК-Кузбасс»
ШУ «Комсомолец»
А.Е. Овчинников

 « 23 » 07 2019 г.

Шахтоуправление Комсомолец

АКТ

эксплуатационных испытаний шахтного смачивателя

Испытания опытного образца шахтного смачивателя, разработанного на базе ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет» (г. Санкт-Петербург), проводились на АО «СУЭК-Кузбасс» ШУ «Комсомолец ПЕ шахта «Полысаевская» 27 июля 2019 года комиссией в составе:





Члены комиссии:

Заместитель начальника технического управления АО «СУЭК-Кузбасс»	А.Н. Жданов
Помощник начальника участка АБ-2	С.В. Симулин
Заведующий лабораторией, доцент кафедры безопасности производств Санкт-Петербургского горного университета	А.В. Корнев
Аспирант кафедры безопасности производств Санкт-Петербургского горного университета	М.В. Корнева

Выводы и рекомендации комиссии по результатам испытаний:

1. Визуальный осмотр представленного смачивателя показал соответствие по внешнему виду, цвету и запаху заявленным характеристикам.
2. Применение разработанного на базе Горного университета шахтного смачивателя в системе орошения проходческого комбайна «ПК-21» при ведении горных работ по пласту «Емельяновский» в подготовительном забое, магистральном конвейерном штреке 19-01 позволило повысить эффективность пылеподавления в забое по сравнению с применяемым в настоящее время смачивателем «Эльфор-М» на 10,3-15,7%. Запыленность на месте машиниста комбайна снизилась с 224,0 мг/м³ до 188,8 мг/м³, в 30 м от комбайна – со 160 мг/м³ до 143,6 мг/м³.
3. При проведении испытаний отмечалась повышенная крепость вмещающих пород и преобладание породной пыли в воздухе. При интенсивном выделении породной пыли эффективность как применяемого, так и испытываемого смачивателей с концентрацией рабочего раствора 0,05 % снижалась.
4. Для повышения эффективности противопылевых мероприятий при ведении горных работ по породе рекомендуется увеличить концентрацию рабочего раствора смачивателя.
5. Разработанный смачиватель рекомендуется к применению на угольных шахтах, ведущих отработку среднеметаморфизованных углей с целью повышения смачиваемости углепородной пыли и эффективности ее улавливания и связывания.

Члены комиссии:

Заместитель начальника технического управления АО «СУЭК-Кузбасс»		А.Н. Жданов
Помощник начальника участка АБ-2		С.В. Симулин
Заведующий лабораторией, доцент кафедры безопасности производств Санкт-Петербургского горного университета		А.В. Корнев
Аспирант кафедры безопасности производств Санкт-Петербургского горного университета		М.В. Корнева