

М. К. Дюсебаев

ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЕ
ПЕНОЙ
НА ГОРНОРУДНЫХ
ПРЕДПРИЯТИЯХ

УДК 622.807

Дюсебаев М. К. Пылеподавление пеной на горнорудных предприятиях
Алма-Ата: Наука, 1989. - 128 с.

Рассматривается состояние борьбы с пылью как профессиональной вредностью на горнорудных предприятиях. Описываются современные способы и средства пылеподавления, а также применения пены для обеспыливания воздуха. Излагаются теоретические основы процессов генерации пены и взаимодействий частиц пыли с пузырьками пены. Значительное внимание уделяется повышению эффективности пылеподавления пеной на основе её электризации и магнитной обработки растворов пенообразователя. Описываются устройства для интенсификации пылеподавления пеной и результаты их работы на горнорудных предприятиях Казахстана.

Книга представляет интерес для инженерно-технических работников горнорудной промышленности, научно-исследовательских и проектных организации.

Библиогр. 99 назв. Ил. 45. Табл. 51.

*Ответственный редактор
доктор технических наук В. К. Журавлев*

*Рецензенты:
доктор технических наук Б. К. Алияров,
кандидат технических наук В. Я. Кустов*

Д 2502010700—059 109.89
407(05)—89
ISBN 5—628—00244—5

Издательство «Наука»
Казахской ССР,
1989

ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития народного хозяйства страны основой решения назревших социально-экономических проблем является ускорение научно-технического прогресса на базе внедрения новых технологических процессов и оборудования.

В Казахстане по уровню технической оснащенности, технологии производства и качеству продукции общесоюзную известность и значимость обрели Балхашский и Джезказганский горно-металлургические комбинаты, свинцово-цинковый и титаномагниевого комбинаты в Усть-Каменогорске, Лениногорский, Иртышский и Ачисайский полиметаллические комбинаты, а Зырянский, Белогорский и другие горнорудные предприятия республики достигли хороших результатов в рациональном и комплексном использовании добываемого сырья. Так, около половины из 70 химических элементов, получаемых в процессе переработки руды, извлекают попутно (висмут, золото, медь, серебро, серу и т.д.). Такая «добавка» составляет значительную часть общей стоимости всей получаемой продукции.

При комплексном использовании минеральных ресурсов сокращаются потери, расширяется сырьевая база, улучшаются технико-экономические показатели добычи руды, снижаются капиталовложения на геологоразведочные работы и в целом в промышленности, наиболее полно и с минимальными затратами удовлетворяются потребности народного хозяйства в сырье [1].

Вместе с тем техническое перевооружение предприятий и интенсификация производственных процессов добычи и переработки полезных ископаемых способствуют загрязнению воздушной среды, в основном рудничной пылью. Это загрязнение представляет серьезную опасность для здоровья людей, вызывая пневмокониоз.

Интенсификация горного производства связана не только с увеличением мощностей предприятий, но и с ростом глубины разработок месторождений, что сопряжено с резким повышением запыленности и загазованности, а также ухудшением климатических характеристик атмосферы, особенно при открытом способе добычи руд.

Коммунистическая партия и Правительство СССР при решении проблем развития народного хозяйства неукоснительно требуют исходить из приоритета охраны здоровья настоящего и будущих поколений советских людей, создания наилучших условий для их жизни, нацелить на это научно-технический прогресс, обеспечить переход на ресурсосберегающие технологии, наиболее полно и бережно использовать природные богатства, полученные из них сырье, материалы и продукцию.

В последние годы во всем мире необходимым является повторное использование материальных ресурсов (уже сейчас технически можно использовать $\frac{2}{3}$ образующихся отходов), которое в будущем станет основополагающим. В СССР, например, только за счет утилизации вторичного сырья производится 30% стали, 20% цветных металлов, причем

капитальные вложения на его переработку примерно в 4 раза меньше, чем первичного [2].

На Лениногорском полиметаллическом комбинате впервые в отечественной практике создан цех по разделке ценного вторичной сырья — кислотных аккумуляторов, содержащих до 60% свинца.

В целях уменьшения вредных выбросов при плавке свинца проводится дробление аккумуляторов и разделение металлизированной и оксидно-сульфатной фракций свинца от органических веществ методом гидросепарации. Однако при этом содержание свинца в воздухе рабочих мест во много раз превышает предельно допустимые концентрации.

В настоящее время борьба с пылью как профессиональной вредностью остается одной из важнейших проблем дальнейшего улучшения условий труда и охраны воздушной среды на горнорудных предприятиях Казахстана. Решение этой задачи требует разработки экономически целесообразных и эффективных средств и способов обеспыливания с учетом предъявляемых санитарных норм.

Система социалистического планового хозяйства создает все возможности для оздоровления атмосферных условий на предприятиях, что конкретно отражено в «Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1986—1990 годы и на период до 2000 года»: «Усилить охрану атмосферного воздуха. В этих целях совершенствовать технологические процессы, ...улучшать качество сырья и топлива, внедрять высокоэффективные установки для очистки промышленных и других выбросов»*. Охрана воздушной среды стала объектом государственного планирования, нормирования и учета. Исключительно важная роль в этом принадлежит Закону СССР «Об охране атмосферного воздуха», принятому Верховным Советом СССР в 1980 г.

Одним из эффективных направлений в области борьбы с пылью является её подавление в местах локального образования воздушно-механической пеной, получаемой на основе поверхностно-активных веществ. Этот способ прошел длительную проверку в различных горно-геологических и горнотехнических условиях угольных шахт, карьеров и рудников. Слой пены, обладающий определенной стойкостью и прочностью, улавливает частицы пыли, создает на его пути своеобразный подвижный экран, изолирующий источник пылевыделения от окружающей среды. При этом в несколько раз снижается расход жидкости, что наряду с повышением эффективности подавления пыли по сравнению с орошением позволяет улучшить микроклимат рабочих мест и ведение технологического процесса.

Однако, как показали исследования, при пылеподавлении пеной недостаточно улавливаются пыли тонких фракций, представляющих особую опасность для здоровья человека.

Дальнейшим совершенствованием этого способа пылеподавления, повышением его оздоровительной эффективности может быть применение электрических и магнитных полей при генерации пены.

В нашей стране проводятся значительные работы по исследованию и внедрению перспективных способов борьбы с рудничной пылью, включая и пылеподавление пеной, по результатам которой опубликован ряд книг: «Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности» под ред. А. С. Кузьмича, «Борьба с угольной и породной пылью в шахтах» П. М. Петрухина, Г.С. Гроделя, Жилиева Н.И., «Борьба с пылевыделением в шахтах» Б.Ф. Кирина, Журавлева В.П., и Рыжих Л.И. «Обеспыливание воздуха» А.И. Пирумова, «Очистка воздуха от пыли на горнорудных предприятиях» Г.А. Жовтухи, Стуканова В.И и Янова А.П., «Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли» В. И. Саранчука, Качана В.Н., Рекуна В.В. и др.

Весомый вклад в эти исследования внесли также М.И. Волохов, Н.Ф. Гращенков, В.К. Журавлев, И.Г. Ищук, В.И. Классен, В.А. Михайлов, Н.В. Ненашев, В.С. Никитин, Г.Е. Панов, Л.П. Роменский, К.З. Ушаков, П.Ч. Чулаков и др.

БОРЬБА С ПЫЛЬЮ НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

1.1. ОСОБЕННОСТИ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РУДНИЧНОЙ ПЫЛИ

В 1982 г. во Франции, как отмечалось на Парижской конференции по проблемам борьбы с силикозоопасной пылью, было зарегистрировано 5 500 случаев профессиональных заболеваний и первое место (40%) среди них заняли пневмокониозы. При этом подчеркивалось, что особенностью современных пневмокониозов является увеличение скрытого периода заболевания из-за сокращения рабочего времени и специальных профилактических мероприятий [2].

В результате обследований, проведенных на предприятиях каменноугольной промышленности ФРГ, Франции и Великобритании установлено, что риск заболевания пневмокониозом начальной стадии при стаже работы обследуемого 35 лет и средней концентрации тонкодисперсной пыли 4 мг/м^3 составляет приблизительно 3%, а при концентрации 10 мг/м^3 — около 25% (рис. 1) [3].

Основную опасность для здоровья горняков представляет фиброзный пневмокониоз — разрастание и уплотнение соединительной ткани легких, которые не способны обогащать кровь кислородом и адсорбировать из неё углекислый газ.

Наиболее часто встречается силикоз (одна из разновидностей пневмокониоза), вызываемый содержащимся в пыли свободным диоксидом кремния (SiO_2). Он нередко осложняется туберкулезом и тогда принимает форму силикотуберкулеза.

Фиброгенность кварцсодержащей пыли обусловлена наличием на её поверхности химически активных свободных силанольных групп (SiOH) с полупроводниковыми свойствами кварца, образующихся вследствие гидратации ионов (SiO^- и Si^+) путем присоединения соответственно ионов водорода и гидроксильных ионов.

Согласно работам [4, 5], силикозогенные свойства рудничной пыли, содержащей свободную двуокись кремния, проявляются меньше при нанесении на поверхность кварцевых частиц гидрата окиси кальция. Это объясняется тем, что ионы кальция полностью замещают ионы водорода силанольных групп и создается слабо гидролизующее устойчивое соединение силиката кальция.

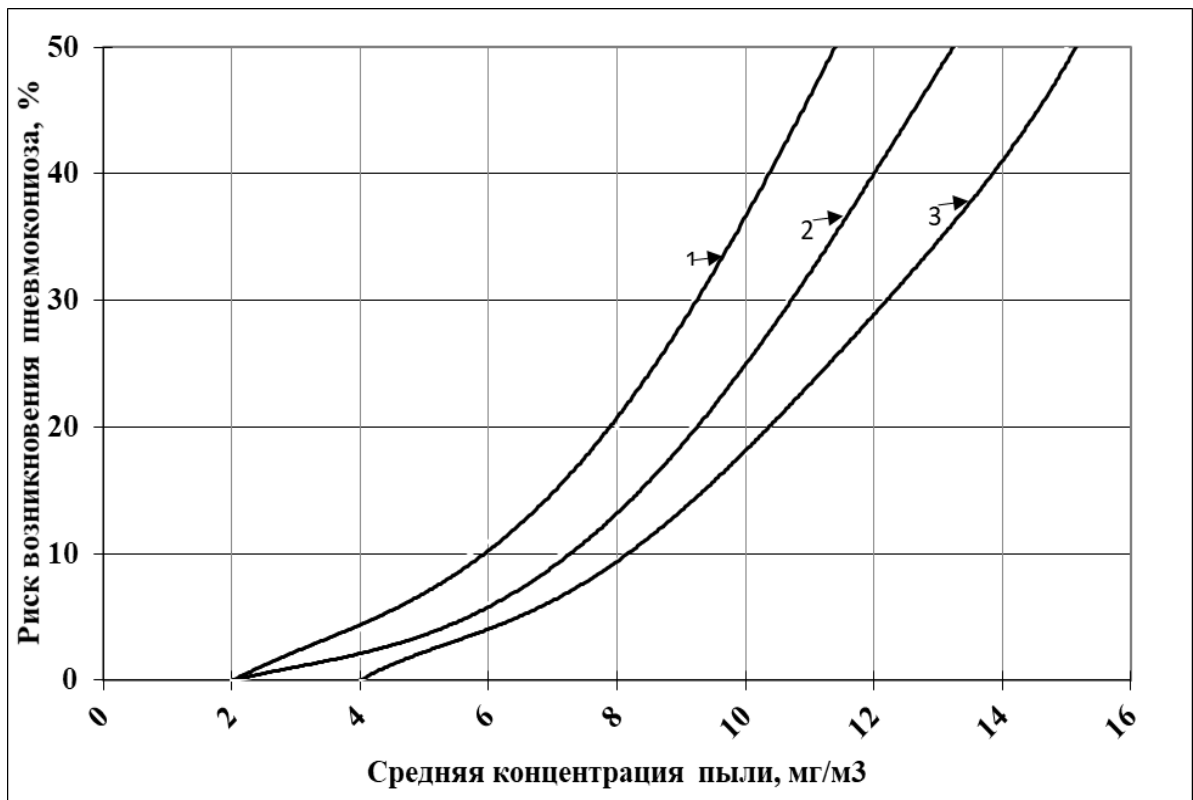


Рис. 1. Риск возникновения пневмокониоза начальной стадии: 1 и 3 — максимальный и минимальный риск соответственно; 2 — усредненное значение

Для определения силикозоопасности пыли принят следующий коэффициент [5]:

$$K_c = \sqrt{10^3 a / (2m)} , \quad (1.1)$$

где a - количество адсорбированного пылью кальция, мг; m - масса пыли, мг.

По степени силикозоопасности горные породы подразделяются на три класса: инертные ($K_c = 0 — 0,25$), умеренно агрессивные ($K_c = 0,26 — 0,5$) и высоко агрессивные ($K_c = 0,51 — 1,0$).

Размеры пылинок, попадающих в легкие человека, обычно не превышают 10 мкм. На международной конференции по пневмокониозам в Йоханнесбурге (1959г.) отмечалось, что самыми опасными для здоровья являются частицы пыли размером менее 7 мкм.

Частицы размером 1 мкм и меньше практически не проникают легкие. Из общего числа частиц размером менее 5 мкм попадает в легкие примерно 50%, а от 5 до 7 мкм — 10 — 20% [3, 6].

Следует подчеркнуть, что 95 — 99% проникших частиц (0,3 - 5 мкм) задерживается в тканях легких. Частицы дисперсностью менее 0,2 — 0,3 мкм имеют коллоидные свойства и не вредны для организма человека. Они выводятся из легких вместе с выдыхаемым воздухом.

В небольших количествах диоксид кремния растворяется в клетках организма и вызывает отмирание фагоцитов (белых кровяных телец). Омертвевшие клетки твердеют, накапливаются в лимфатических желёзах (сосудах) и закупоривают их.

На скорость фагоцитоза существенно влияет степень заряженности частиц пыли, так как из общего объёма вдыхаемой пыли задерживаются преимущественно электрически заряженные пылинки.

Пыль, проникающая в дыхательные пути, может также раздражать и повреждать слизистую оболочку, способствуя возникновению пылевых бронхитов, фарингитов и тонзиллитов. Так, на Северо-Джезказганском руднике случаи поражения органов дыхания составляют более 30% общей заболеваемости, на Коунрадском — 48,4%. Процент заболевания бронхитами находится в прямой зависимости от содержания в воздухе тонкодисперсных фракций. Например, на Коунрадском руднике открытых работ высокая заболеваемость бронхитами наблюдалась у рабочих бурового участка и наибольшая — у рабочих взрывного цеха — 22,4 случая на 100 работающих [7].

Загрязнение поверхности тела пылью приводит к гнойничковым заболеваниям и экземам, а длительное воздействие очень мелкой пыли может привести к закупорке пор и понижению (иногда на 70%) потоотделительной способности кожи. Особенно вредное влияние на кожу оказывает едкая и раздражающая пыль (мышьяк, сурьма, известь, поваренная соль, суперфосфат и др.), вызывающая язвенные дерматиты.

При попадании пыли в глаза возможен конъюнктивит — воспаление слизистых оболочек. Под влиянием металлической пыли происходит нарушение роговицы глаз. Симптомами его являются боль, слезотечение и светобоязнь, а в сочетании с аллергическими изменениями болезнь приводит к эрозиям и сильному ослаблению зрения. Для пневмокониозного воспаления век характерно изменение цвета кожи, которое невозможно устранить промывкой. Следует отметить, что пневмокониозные признаки на роговице глаз предшествуют патологическим изменениям в легких.

Некоторые виды пыли металлов (мышьяка, ртути, свинца) оказывают токсичное и аллергическое действие с вторичной фибриозной реакцией. Так, свинцовая пыль, обладая кумулятивным действием, изменяет состав крови и костного мозга, вызывает мышечную слабость и паралич лучевого нерва, свинцовые колики и энцефалопатию (воспаление головного мозга), поражение печени и почек [8, 9].

Запыленность воздуха рабочей зоны производственных помещений в соответствии с ГОСТом 12.1.005—76 не должна превышать следующих предельно допустимых концентраций (ПДК): кремнеземсодержащая пыль — кремния диоксид кристаллический (кварц, кристобалит, тридимит) при содержании пыли в воздухе более 70% (кварцит, динас и др.) — 1 мг/м³, при 10 — 70% (гранит, шамот, слюда-сырец и др.) — 2 мг/м³, при 2 — 10% (горючие кукерситные сланцы, медно-сульфидные руды, углепородные и

угольные пыли, глина и др.) — 4 мг/м³; свинец и его неорганические соединения — 0,01 мг/м³.

За рубежом ПДК пыли в воздухе устанавливаются как по общей массе частиц в единице объема в миллиграммах на кубический метр, так и по массе тонкодисперсной пыли с размером частиц менее 5 мкм в единице объема в миллиграммах на кубический метр и по количеству пылинок тонкодисперсных фракций в единице объема в штуках на миллилитр. ПДК на пыль без кварца, кварцсодержащую и кварцевую существенно различаются. Так, в Финляндии ПДК на кварцсодержащую пыль — 10 мг/м³, на кварцевую — 0,2 мг/м³, во Франции на тонкодисперсную пыль — 400 шт/мл [2].

По результатам исследований содержание свободного диоксида кремния в рудничной пыли предприятий Казахстана не превышает 70% (ПДК — 2 мг/м³).

По степени воздействия на организм человека пыль и другие вредные вещества подразделяются на четыре класса: I — чрезвычайно опасные (ПДК менее 0,1 мг/м³); II — высокоопасные (0,1 — 1 мг/м³); III — умеренно опасные (1—10 мг/м³) и IV—малоопасные (более 10 мг/м³).

При одновременном содержании в воздухе нескольких вредных веществ однонаправленного действия (близких по химическому строению и характеру биологического воздействия на организм человека) должно выдерживаться следующее соотношение [10]:

$$C_1 / \text{ПДК}_1 + C_2 / \text{ПДК}_2 + \dots + C_n / \text{ПДК}_n \leq 1, \quad (1.2)$$

где C_1, C_2, C_n — фактические концентрации вредных веществ в воздухе; $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ — предельно допустимые концентрации вредных веществ в воздухе рабочей зоны.

Промышленная пыль обычно имеет сложный минералогический и химический состав. Например, при спектрографическом исследовании пыли, взятой из отделения сухих электрофильтров БГМК выявлено десять химических элементов, в том числе медь, свинец, цинк, кальций, сера и т.д.

Химический анализ пыли при переработке аккумуляторного лома (Лениногорский полиметаллический комбинат) показал, что пыль содержит 60 — 65% свинца в основном в сульфатной и оксидной формах, 10 — 17% поливинилхлорида и эбонита, а также около 5% карбоната свинца, образующегося при подаче соды на нейтрализацию остаточной кислоты, причем он в 1,5 — 2 раза токсичней оксида и хлорида свинца [11].

Эффективность борьбы с пылью во многом зависит от её дисперсности, плотности, смачиваемости, слипаемости, электрических и магнитных свойств, склонности к коагуляции.

Как показали исследования, основную часть пыли, образующейся при различных технологических процессах на горнорудных предприятиях, составляют тонкодисперсные фракции. Так, при работе карьерного оборудования пылинки размером менее 5 мкм составляют свыше 90% [12, 13].

Тонкодисперсная пыль имеет большую удельную поверхность, повышенную физическую и химическую активность, а также абсорбционную способность [8].

Физические характеристики частиц пыли:

| | | | | |
|---|------------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|
| Размеры частиц (мкм) | 0,1 | 1,0 | 10 | 100 |
| Число частиц в шаре радиусом 1 см | 10^{15} | 10^{12} | 10^9 | 10^6 |
| Объем одной частицы (см ³) | $4,188 \cdot 10^{-15}$ | $4,188 \cdot 10^{-12}$ | $4,188 \cdot 10^{-9}$ | $4,188 \cdot 10^{-6}$ |
| Масса одной частицы (г) | $8888 \cdot 10^{-13}$ | $8888 \cdot 10^{-10}$ | $8888 \cdot 10^{-7}$ | $8888 \cdot 10^{-6}$ |
| Суммарная поверхность (м ²) | 126 | 12,6 | 1,26 | 0,126 |

Дисперсный состав пыли в воздухе отделения дробления цеха разделки аккумуляторного лома ЛПК таков:

| | | | | | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|--------|
| Размеры частиц (мкм) | 0,3 — 2 | 2 — 4 | 4 — 6 | 6 — 8 | 8 — 10 |
| Содержание фракции (%) | 50,3 | 42,6 | 5,4 | 0,7 | 0,5 |

В табл. 1 дан фракционный состав пыли, взятой на участке дробления КОФ-1 Ачисайского полиметаллического комбината.

Частицы рудничной пыли, взвешенные в воздухе, несут электрический заряд того или иного знака (табл. 2). Возникновению заряда способствует интенсивное механическое разрушение при дроблении исходного сырья, когда в результате разрыва кристаллической решетки образуется избыток или недостаток электронов и ионов. Пыль может заряжаться и при адсорбировании ионов из газов и ударе частиц друг о друга, а также при трении пылинок о твердую поверхность (трибоэлектризация) [4, 14].

Таблица 1. Фракционный состав частиц пыли полиметаллических руд, %

| Вид руды | Размеры частиц, мкм | | |
|-----------------|---------------------|--------|----------|
| | менее 5 | 5 - 10 | более 10 |
| Жайремская: | | | |
| сульфидная | 86,4 | 12,1 | 1,5 |
| баритовая | 69,7 | 20,4 | 9,9 |
| смешанная | 82,9 | 9,3 | 7,8 |
| Миргалимсайская | 92,6 | 6,2 | 1,2 |

Полярность зарядов зависит от химической природы частиц пыли и условий их образования (табл. 3), а величина заряда в большей степени — от размеров частиц пыли (табл. 4). При этом на частице со средним условным диаметром 0,005 мкм может находиться не более 10 элементарных зарядов, а на частицах диаметром 200 — 500 мкм — до $3 \cdot 10^5$ таких зарядов [15].

Таблица 2. Электрoзаряженность рудничной пыли

| Место отбора пыли или вид процесса | Содержание частиц, % | | |
|---|----------------------|---------------|---------------|
| | нейтральных | положительных | отрицательных |
| Промплощадка | 18 | 45 | 37 |
| Откаточная выработка до начала работ | 30 | 21 | 49 |
| Откаточная выработка во время работ | 10 | 48 | 42 |
| Скреперование руды | 19 | 29 | 52 |
| Промплощадка карьера во время работы | 14 | 44 | 42 |
| Сухое бурение в карьере | 11 | 48 | 41 |
| Дробильное отделение обогатительной фабрики | 17 | 47 | 36 |

Согласно работе [4], в пыли, образующейся при бурении шпуров, преобладают положительные заряды, а в пыли, возникающей при взрывании, скреперовании и погрузке руды, — отрицательные. Электрический заряд, приобретаемый пылью в момент её образования, равен десяткам тысяч элементарных зарядов, что способствует эффективному улавливанию пыли при правильном применении электрических полей.

Установлено, что при трении двух диэлектриков положительный заряд приобретает тот, у которого диэлектрическая проницаемость выше. Количество электричества, образующееся при этом, прямо пропорционально разности диэлектрических проницаемостей тел.

Таблица 3. Электрoзаряженность различных пылей

| Материал | Содержание частиц, % | | |
|-------------------|----------------------|---------------|---------------|
| | нейтральных | положительных | отрицательных |
| Уголь | 14 | 62 | 24 |
| Цемент | 16,5 | 48 | 35,5 |
| Глина | 12 | 58 | 30 |
| Зола | 11 | 43 | 46 |
| Сажа | 20 | 35 | 45 |
| Кварц | 11 | 42 | 47 |
| Бронзовый порошок | 15 | 59 | 26 |
| Железная руда | 9,3 | 54,4 | 36,3 |

Диэлектрическая проницаемость пыли (крупностью <50 мкм) различных пород характеризуется следующими данными:

| | |
|-----------------------------|-----|
| Известняк | 3,3 |
| Кварц, кварцит | 2 |
| Магнетитовая руда | 2,3 |
| Медно-никелевая руда | 4 |
| Микрокварцит | 1,9 |
| Сланцы кварцево-серицитовые | 2,5 |

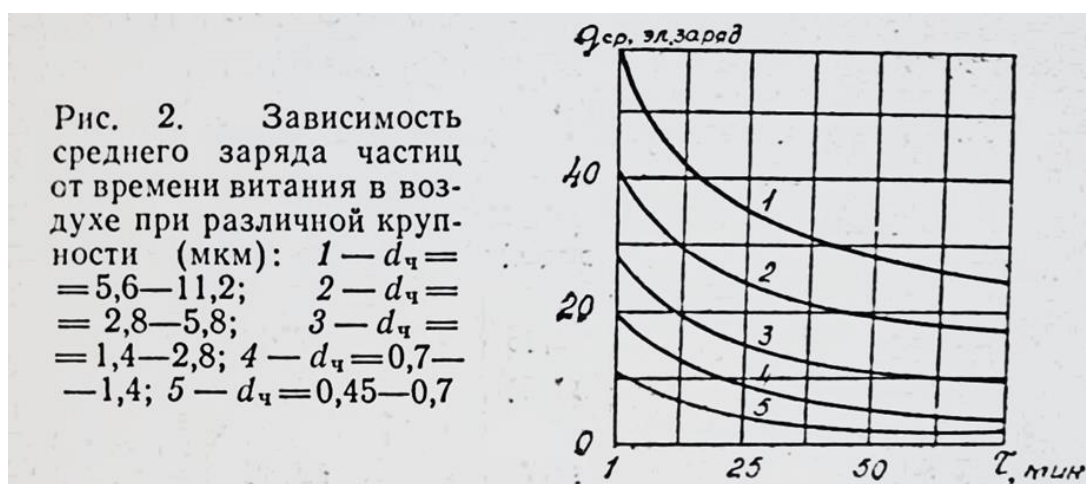
Диэлектрическая проницаемость пылевых частиц этих пород в 3 — 5 раз меньше проницаемости их кусков [4].

Таблица 4. Средний электрический заряд различных пылей

| Пыль | Размер частиц, мкм | | | | |
|------------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | 0,7 | 0,7 - 1,4 | 1,4 - 2,8 | 2,8 - 5,6 | 5,6 - 11,2 |
| Угольная | 6 - 12 | 13 - 32 | 20 - 55 | 38 - 90 | 80 - 125 |
| Бронзовая | 6 | 7 | 16 | 38 | 102 |
| Цементная | 10 | 18 | 37 | 63 | 106 |
| Глиняная | 8 | 20 | 35 | 47 | 81 |
| Микрокварцитовая | 8 | 20 | 35 | 55 | 103 |
| Кварцевая | 13 | 22 | 30 | 73 | 123 |

Примечание. Заряд пыли измеряется элементарными зарядами.

В момент образования частицы пыли несут максимальный заряд, который с течением времени уменьшается под действием ионов воздуха (рис.2) [14].



Следует подчеркнуть, что электризация частиц пыли зависит от скорости движения, температуры и влажности воздуха.

Существенное значение при выборе средств осаждения пыли имеет её удельное электрическое сопротивление (УЭС), экспериментальные значения которого для некоторых видов пыли приведены ниже [16] (Ом•м):

| | |
|-------------------------------|-------------------|
| Медьсодержащий оборотный шлак | $7,3 \cdot 10^6$ |
| Свинцовая руда | $4,6 \cdot 10^8$ |
| Пыль свинцового лома | $3,26 \cdot 10^8$ |
| Известняк | $0,15 \cdot 10^8$ |

Согласно принятой в теории пылеулавливания классификации, эти пыли относятся ко II группе и эффективно осаждаются электрическими способами [14].

Смачиваемость пыли — свойство, определяющее эффективность пылеосаждения мокрым способом. Она обуславливается минералогическими, петрографическими, физико-химическими и другими характеристиками пыли. Степень смачиваемости, например, при гидрообеспыливания зависит от крупности частиц пыли $d_{\text{ч}}$, скорости их движения $v_{\text{ч}}$, размеров капель воды $d_{\text{к}}$, плотности частиц $\rho_{\text{ч}}$ и вязкости μ среды [8]:

$$\eta = f[d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} v_{\text{ч}} / d_{\text{к}} \mu], \quad (1.3)$$

Смачиваемость пыли можно повысить добавлением к жидкостям специальных поверхностно-активных веществ (далее ПАВ) (ДБ, ПО-1, ПО-12 и др.), снижающих поверхностное натяжение среды. В табл. 5 и 6 представлены результаты исследований смачиваемости различных пылей водой и растворами пенообразователей. При этом склонность рудничной пыли к смачиванию оценивалась методом пленочной флотации, который основан на определении доли массы затонувших за некоторое время частиц порошка, насыпанного тонким слоем на поверхность жидкости.

Таблица 5. Смачиваемость различных пылей, %

| Пыль | Смачиваемость | |
|----------------------------------|---------------|-----------------------|
| | водой | 3%-ным раствором ПО-1 |
| Свинцового лома | 28,15 | 37,42 |
| Известняковая | 34,02 | 64,74 |
| Медьсодержащего оборотного шлака | 41,70 | 69,42 |

В соответствии с классификацией промышленных пылей по смачиваемости [17] все исследованные виды пыли относятся к среднесмачиваемым (30 — 80% затонувших частиц).

Таблица 6. Смачиваемость пылей некоторых руд, перерабатываемых на Ачисайском полиметаллическом комбинате, %

| Руда | Марка пенообразователя | | |
|--------------|------------------------|-------|---------|
| | ПО-12 | ПО-6К | «Сампо» |
| Айналминская | 57,0 | 63,3 | 45,0 |
| Жайремская: | | | |
| сульфидная | 53,3 | 56,6 | 55,8 |
| баритовая | 45,0 | 46,7 | 46,8 |
| смешанная | 48,0 | 55,0 | 51,0 |
| Шалкиинская | 63,4 | 41,6 | 52,9 |

Дополнительной характеристикой активности пыли по отношению к жидкости служит кинетика смачивания. Этот показатель определяется методом капиллярного впитывания (измеряется скорость впитывания влаги пылевым слоем).

Исследования по кинетике смачивания пыли жидкостью проводились на специальной экспериментальной установке, состоящей из латунной ячейки (диаметром 12, высотой 34 мм) с установочным бортиком и прозрачной трубки с градуированным капилляром (цена деления 0,02 мм). Навеска исследуемой пыли (0,6 г) помещалась в ячейку, закрытую в основании фильтровальной бумагой. При работе на установке ячейка заполнялась рабочей жидкостью до установочного бортика.

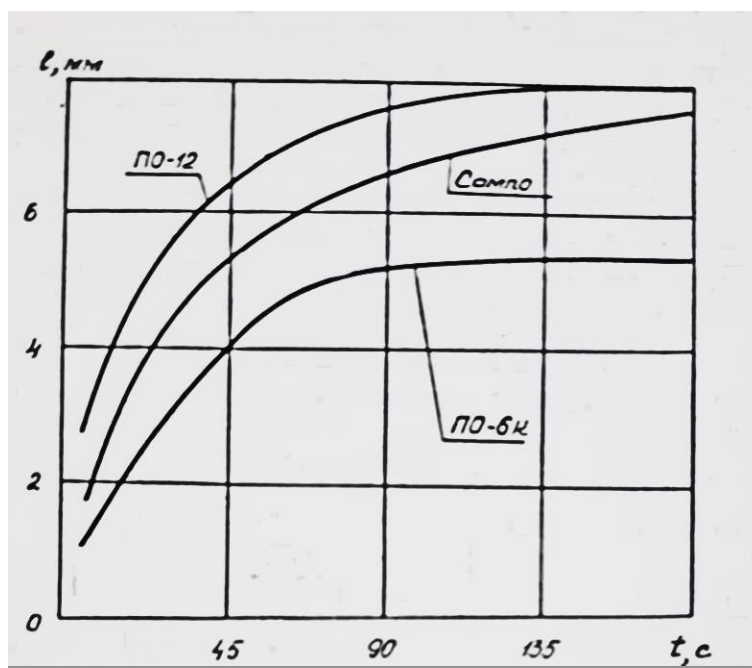


Рис. 3. Кинетика смачивающей способности растворов ПАВ пыли полиметаллических руд месторождения «Шалкия»

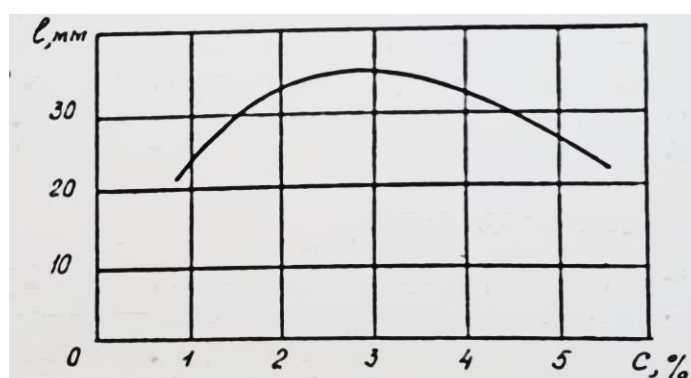


Рис. 4. График зависимости смачивающей способности пенообразователя ПО-1 от концентрации раствора

Одновременно жидкость поступала и в капилляр, расположенный горизонтально на одном уровне с бортиком ячейки. Затем приготовленный

образец пыли помещали в ячейку и герметично закрывали латунным колпачком, включали секундомер, отсчитывая по капилляру объем впитавшейся жидкости через определенные промежутки времени. По результатам измерений строили кривые зависимости объема поглощенной влаги от времени смачивания пыли. В качестве исследуемых жидкостей использовали растворы пенообразователей ПО-6К, ПО-12 и «Сампо» (рис.3).

Анализ экспериментальных данных показал, что зависимость объема впитываемой жидкости от времени имеет нелинейный характер. С увеличением времени контакта пыли с жидкостью смачиваемость растет.

На рис. 4 представлен график изменения смачиваемости в зависимости от концентрации пенообразователя ПО-1, который носит экстремальный характер. Оптимальной концентрацией является 3%-ный раствор [18].

Таблица 7. **Магнитные свойства и плотность пыли**

| Материал | Магнитная проницаемость | Плотность, кг/м ³ |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------|
| Медьсодержащий оборотный шлак | 1,02432 | 3 750 |
| Свинцовая руда | 1,00277 | 3 336 |
| Свинцовый лом | 1,00012 | 1 668 |
| Известняк | 1,0002 | 2 309 |

Данные о магнитной проницаемости пылей, определенной индукционным методом [19], и плотности частиц приведены в табл.7. Плотность пыли определялась пикнометрическим способом [17].

Таким образом, исследования физико-химических свойств пылей горнорудных предприятий республики показывают, что 90% пылинок имеют размеры менее 5 мкм и обладают повышенной проникающей способностью.

1.2. ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПЫЛИ

При добыче руды, а также её технологической переработке и транспортировке образуется и выделяется в атмосферу большое количество пыли. Так, запыленность воздуха в транспортной галерее цеха подготовки шихты Балхашского горно-металлургического комбината при дроблении и транспортировании ленточными конвейерами оборотных медьсодержащих материалов, золотосодержащей руды и известняка, а также на участках дробления сырья других комбинатов во много раз превышает допустимые санитарные нормы из-за особенностей производственного процесса и несовершенства как технологического, так и пылеулавливающего оборудования.

При перегрузке руды, например на ленту конвейера, она увлекает (эжектирует) за собой пограничные слои воздуха с находящимися в нем пылинками. Измельченные куски руды движутся с ускорением, в связи с чем расстояние между ними по мере удаления от места выгрузки увеличивается пропорционально их массам, а также отношению конечной скорости падения руды в момент соприкосновения её с конвейерной лентой или ранее

выгруженным материалом к начальной скорости. При динамическом ударе кусков руды о поверхность ленты увлеченный ими воздух выделяется в рабочую зону, унося мелкие частицы рудничной пыли, скорость витания которых не превышает скорости образовавшегося воздушного потока. При этом на поверхности упавшего материала возникают веерно направленные струи воздуха и происходит интенсивный выброс пылевых частиц из укрытия.

Таблица 8. Содержание пыли в воздухе участка дробления КОФ-1

| Руда | Концентрация, мг/м ³ | Влажность руды |
|-------------|---------------------------------|------------------|
| Жайремская: | | |
| сульфидная | 13,3 - 43,8 | Влажная |
| баритовая | 109 - 253 | Слабоувлажненная |
| Местная | 21,9 - 40,0 | Увлажненная |

Количество выделяющейся пыли зависят от расхода и высоты падения руды, скорости и периметра потока в месте удара о поверхность, плотности, влажности, слипаемости и размеров частиц.

Результаты измерения запыленности воздуха на рабочих местах узла загрузки дробленой руды на конвейерную ленту на участке дробления КОФ-1 комбината «Ачполиметалл» приведены в табл. 8.

Следует отметить, что значительное выделение пыли наблюдается при дроблении перерабатываемого сырья. Например, при работе молотковых дробилок внутри кожуха создается избыточное давление, равное 2 — 3 кг/м². Объем выбрасываемого дробилкой запыленного воздуха по разгрузочному желобу при этом может составлять 2,5 — 3,5 тыс. м³/ч [20]. Поэтому на Лениногорском полиметаллическом комбинате (ЛПК) при работе молотковой дробилки в цехе разделки аккумуляторного лома концентрация свинца в воздухе в 200 раз превышает предельно допустимые значения.

Образующаяся при дроблении аккумуляторов пыль обладает значительной способностью витать в воздухе, даже при неработающем оборудовании запыленность рабочей зоны остается высокой. При этом установлено, что доля наиболее дисперсной фракции увеличивается в нижних слоях воздуха.

При открытой добыче руд цветных металлов запыленность зависит в основном от характера работы и передвижения горного и транспортного оборудования, а также от климатических условий. Так, при шарошечном бурении взрывных скважин объем и фракционный состав образующейся буровой мелочи и пыли обусловлены физико-механическими свойствами пород, типом долота, скоростью вращения, осевой нагрузкой, расходом воздуха на продувку, глубиной скважины и скоростью бурения.

Производительность станков шарошечного бурения достигает 0,025 м/с, и за одну секунду в забое скважины образуется до 2 — 3,5 кг буровой мелочи и пыли полидисперсного состава размерами от долей до сотен микрон. При

выдувании продуктов разрушения из скважины воздухом частицы крупнее 100 — 200 мкм оседают возле устья скважин, а более мелкие поступают в атмосферу.

Для большинства горных пород разработаны оптимальные режимы бурения с увеличенным выходом крупных фракций буровой мелочи. Созданы безвихревые долота с улучшенной аэродинамической характеристикой, при использовании которых более рационально распределяется воздух в призабойной зоне скважины, что позволяет значительно уменьшить переизмельчение и снизить выход тонкодисперсных фракций. Однако, как показывает опыт ведения буровых работ, полностью исключить выход пыли невозможно, так как её образование является закономерным следствием процесса механического разрушения пород.

Данные о выделении пыли в атмосферу при бурении скважин различными станками следующие [1] (мг/с):

Шарошечное бурение:

| | |
|---|----------|
| без пылеуловителя | До 2 200 |
| с пылеуловителем циклонного типа | 60 — 120 |
| с водовоздушной и воздушно-эмульсионной смесями | 3 — 5 |
| Пневмоударное бурение с пылеулавливанием | До 30 |

Интенсивность выделения пыли при экскавации отбитой горной массы в зависимости от её свойств, степени дробления, влажности и технологического режима погрузки изменяется в пределах 60 - 400 мг/с. При неблагоприятных условиях запыленность воздуха в процессе выемочно-погрузочных работ может достигать 100 мг/м³ и более.

При транспортировке горной массы автосамосвалами интенсивность пылевыведения на карьерных автодорогах зависит от состояния дорожного покрытия, частоты движения, массы и вида автомашин, применяемых средств пылеподавления, размера дороги и метеоусловий. При неблагоприятных сочетаниях всех этих факторов интенсивность выделения пыли может достигать на слабоувлажненных щебеночно-гравийных автодорогах 620 — 960 мг/с и неувлажненных — 11 500 — 12 200 мг/с.

Существенное влияние на атмосферные условия в карьерах оказывают массовые взрывы. В момент взрыва большая часть образуемых газов выбрасывается в атмосферу вместе с пылью и лишь незначительная остается в разрушенной породе. Основными вредностями при этом являются окись углерода, оксиды азота и пыль. Концентрация пыли в пылегазовом облаке взрыва достигает 600 — 5 000 мг/м³ [12].

Таблица 9. Запыленность в рудных карьерах

| Место отбора проб | Концентрация пыли, мг/м ³ |
|--|--------------------------------------|
| В кабине экскаватора ЭКГ-4,6 | 1,4 — 23,9 |
| На рабочей площадке у экскаватора | 11,3 — 189,6 |
| В кабине автосамосвала при погрузке | 2,5 — 36,5 |
| На дороге при движении автосамосвалов | 5,2 — 45,0 |
| При сухом бурении шпуров (разделка негабарита) | 50,4 — 190,0 |
| В зоне работы бурового станка СБШ-200 | 37,5 — 120,0 |

Сильное сдувание пыли с отвалов происходит при скорости ветра более 3 — 4 м/с, а пылеобразование от ветровой эрозии почв и пород на участке с ненарушенным почвенным покровом — при более 4 — 5 м/с у поверхности почвы. Занос пыли при скорости ветра 3 м/с на Сибайском карьере достигает 36 000 мг/с. Летом, в сухую погоду, при скорости ветра 3 — 7 м/с запыленность атмосферы карьера составляет 1,4 — 7 мг/м³.

Одним из интенсивных внешних источников пылевыделения являются также хвостохранилища. При скорости ветра 10 м/с запыленность воздуха на расстоянии 200 м от него может достигать 180 мг/м³ [10, 12].

Многолетняя практика и специальные исследования состава атмосферы рудных карьеров показывают, что запыленность при отсутствии средств пылеподавления во много раз выше предельно допустимой концентрации (табл. 9) [13].

Состояние атмосферы при открытых горных работах зависит от расположения и размеров карьеров, характера и порядка ведения технологического процесса добычи руды, состава пород, их влажности, крепости и других факторов. Так, расположение Зырянского полиметаллического месторождения на территории, окруженной горами, при отсутствии долинных ветров обуславливает накопление в атмосфере карьера (проектная глубина 300 м) вредностей, образовавшихся при технологических процессах.

Основной профессиональной вредностью состава атмосферы карьера является силикозоопасная пыль. Содержание диоксида кремния в богатых рудах колеблется от 24,1 до 27,8%, а во вкрапленных рудах и породах — от 48,1 до 72%.

Скальные породы и руды имеют высокую устойчивость, и коэффициент крепости по шкале М.М. Протодяконова изменяется от 16 — 18 (микрокварциты) до 10 — 13 (порфириты, сплошные сульфиды, сланцы). Встречаются также более слабые хлоритовые и серицитовые сланцы с коэффициентом крепости 6 — 8.

Естественная влажность сульфидных руд составляет 0,04 — 1%, окисленных руд — 0,5 — 6,8%, пород — около 2,5%.

Объемный вес скальных пород равен 2,5 — 2,6 т/м³, а руды — 2,6 — 3,3 т/м³.

Разработка полезных ископаемых открытым способом в Казахстане ведется на большой глубине, что способствует ослаблению активности

естественного ветрового потока. При этом карьеры характеризуются резко различающимися микроклиматическими условиями, недостатком средств обеспыливания и вентиляции, высоким уровнем запыленности [21].

По данным многолетних наблюдений, количество пыли, выносимой из карьеров естественным ветровым потоком, достигает 16 - 24 т в смену, а дальность её распространения в зависимости от скорости ветра изменяется от 0,5 до 2,0 км при непрерывном пылевыделении.

Значительная часть пыли выделяется при доставке руды (50%) и экскавации (40%).

Карьеры Казахстана расположены в зонах континентального (Восточно-Казахстанский медно-химический и Зыряновский свинцовый комбинаты) и резко континентального климата (Балхашский горно-металлургический, Жайремский, Акчатауский, "Соколовско-Сарбайский горно-обогатительные комбинаты).

Средняя скорость естественного ветрового потока для карьеров, находящихся в зоне континентального климата, равна 2,0 — 3,5 м/с, а для карьеров с резко континентальным климатом — 4,5 — 6,0 м/с. Особенности карьеров первой группы являются наличие штилевых дней и инверсионное распределение температур (при малых значениях скорости поверхностных воздушных потоков зимой и весной), существенно осложняющих обстановку в карьерах. При этом выделяющиеся газы и пыль остаются в рабочей зоне, а их концентрации значительно превышают предельно допустимые значения, в результате чего простаивает горнодобывающее оборудование (до 1200 ч в год и более). Например, в Зыряновском карьере среднегодовая скорость ветра всего 0,55 м/с, что приводит к возрастанию загрязнения атмосферы и длительным инверсиям, при которых температура воздуха в карьере становится ниже, а относительная влажность выше, чем на поверхности.

Для карьеров второй группы характерны отсутствие безветренных периодов и высокая средняя скорость естественного ветра, что обуславливает значительную фоновую запыленность воздуха.

Таблица 10. Среднегодовые значения скорости ветра в глубоких карьерах

| Карьер | Глубина, м | Среднегодовая скорость, м/с | |
|--------------------|------------|-----------------------------|--------|
| | | на поверхности | на дне |
| Сибайский | 320 | 2,3 | 0,7 |
| Коркинский | 350 | 4,2 | 1,1 |
| Учалинский | 220 | 3,1 | 1,5 |
| Златоуст-Беловский | 260 | 2,4 | 1,2 |

Существенное различие наблюдается и в температурных условиях. Так, среднегодовая температура для первой группы карьеров составляет 0,5 — 2,2°С, для второй — 1,9 — 8,8°С; годовое количество осадков — 40 — 650 и 120 — 280 мм соответственно, причем в условиях континентального климата

основная масса осадков выпадает в теплый период года, а для резко континентального наибольшее число осадков приходится на декабрь — январь.

Большинство карьеров страны разработаны до глубины 100 — 150 м, а четверть — свыше 200 м. Проектная же глубина ряда карьеров — 300 — 500 м и выше (Коунрадского — 400, Соколовского — 468 и Сарбайского — 630 м). С увеличением глубины скорость воздушных потоков в карьерах снижается. Например, на дне Коркинского карьера среднегодовое значение её составило 26% скорости ветра на поверхности, в Сибайском — 30,4%, Учалинском — 48,4%, т.е. абсолютные значения скорости воздушных потоков на дне глубоких карьеров небольшие (табл. 10). В результате этого образуются зоны, в которых воздухообмен полностью или частично отсутствует, а это приводит к накоплению вредных веществ, выделяющихся из недр и при производстве горных работ [13, 21].

Важное значение для оценки пылевой обстановки и выбора средств обеспыливания атмосферы имеет характер распределения концентрации пыли на рабочей площадке горных машин (табл. 11).

Дальнейшее возрастание объемов горного производства и увеличение глубины открытых разработок могут ещё больше ухудшить условия труда из-за загрязнения воздушного бассейна пылью и газами как внутри карьеров, так и вокруг них.

Необходимо также отметить, что пыль, витающая в атмосфере карьеров, адсорбирует токсичные газы (альдегиды, акролеин и др.) и канцерогенные вещества, которые не десорбируются и попадают вместе с пылью в организм людей.

Таблица 11. Средняя запыленность воздуха в забое работающего экскаватора ЭКГ-8 (Коунрадский карьер), мг/м³

| Расстояние от экскаватора, м | Горизонт, м | |
|------------------------------|-------------|------|
| | 297 | 277 |
| 5 | 47,6 | 53,9 |
| 10 | 21,1 | 24,3 |
| 15 | 10,1 | 11,1 |
| 20 | 9,2 | 9,4 |
| 25 | 6,9 | 6,6 |

Борьба с пылью на горнорудных предприятиях может вестись организационными, технологическими и другими способами. Так, в целях уменьшения случаев профессиональных заболеваний в каменноугольной промышленности ФРГ через категорию пылевой нагрузки и коэффициент риска (табл. 12) регламентируется время работы человека в течение года с учетом состояния здоровья, запыленности воздуха и минералогического состава тонкодисперсных фракций.

Таблица 12. Категория пылевой нагрузки и коэффициент риска

| Категория пылевой нагрузки | ПДК тонкодисперсной пыли, мг/м ³ | | Коэффициент риска |
|----------------------------|---|---------------|-------------------|
| | кварцосодержащей | кварцевой | |
| 0 | 2,5 | 0,125 | 0,8 |
| I | 2,5 — 5,0 | 0,125 — 0,250 | 1 |
| II | 5,0 — 7,5 | 0,250 — 0,375 | 2 |
| III | 7,5 — 9,5 | 0,375 — 0,475 | 3 |
| IV | 9,5 — 12,0 | 0,475 — 0,600 | 5 |

При этом показатель пылевой нагрузки (количество смен умноженное на коэффициент риска) для горняков, не болевших пневмокониозом (группа В-1) в течение 5 лет, не должен превышать 2 500 ед., а с начальной стадией пневмокониоза (группа В-2) — 1 500 ед. Правилами дополнительно установлено, что каждый работающий из группы В-1 в условиях IV категории пылевой нагрузки может отработать только 50 смен в год, а работающий из группы В-2 — 30 смен [2].

Снижение выделения пыли в производственных помещениях можно обеспечить выполнением следующего комплекса мероприятий: максимально герметизировать пылящее технологическое и транспортное оборудование, создавать специальные укрытия у мест перегрузок и других узлов, где образуется пылевоздушная смесь; увлажнять измельченные материалы в пределах, допускаемых технологическим процессом; применять беспыльную уборку помещений и оборудования; удалять пылевоздушные смеси из укрытий и других мест пылеобразования.

В местах перегрузок материала необходимо устанавливать течи (желоба, трубы) с минимально допустимыми по расчетной производительности сечениями и углами наклона.

Для уменьшения пылеобразования и просыпей при транспортировании материала на ленточных конвейерах предусматривают минимальную высоту пересыпки; устройства, ограничивающие выход массы материала на ленту в местах его перегрузки; наклон течи по направлению движения ленты; амортизирующие устройства, предотвращающие быстрый износ лент; приспособления для очистки холостой ветви лент и концевых барабанов; ширину транспортных лент не менее чем на 200 мм большую ширины, требуемой для максимальной расчетной производительности конвейера.

Скорость движения лент конвейеров принимают не более 1,6 м/с для кусковых материалов, 1,0 м/с — для зернистых (размер зерна 3 — 4 мм) и 0,6 м/с для порошкообразных (размер частиц менее 0,5 мм) [21].

К технологическим мероприятиям при работах на рудных карьерах, например, следует отнести взрывание скважин с меньшим диаметром и большей глубиной, что способствует снижению выброса пыли. Кроме того, рассредоточение взрывчатого вещества по скважине с оставлением воздушных промежутков существенно сокращает радиус зоны пластических деформаций и количество образующейся при взрыве пыли.

Уменьшить пылеобразование при разрушении горных пород можно также путем совершенствования исполнительных органов машин и механизмов, использования специального оборудования и технологических средств [7, 13].

Вместе с тем наибольшее снижение запыленности воздушной среды рабочей зоны до предельно допустимых концентраций обеспечивается разработкой и применением эффективных способов и средств пылеулавливания и пылеподавления.

1.3. СПОСОБЫ И СРЕДСТВА БОРЬБЫ С ПЫЛЬЮ

В процессе пылеулавливания происходит разделение фаз твердая частица — воздух под действием силы тяжести, центробежных, электрических и других сил (рис. 5) [22].

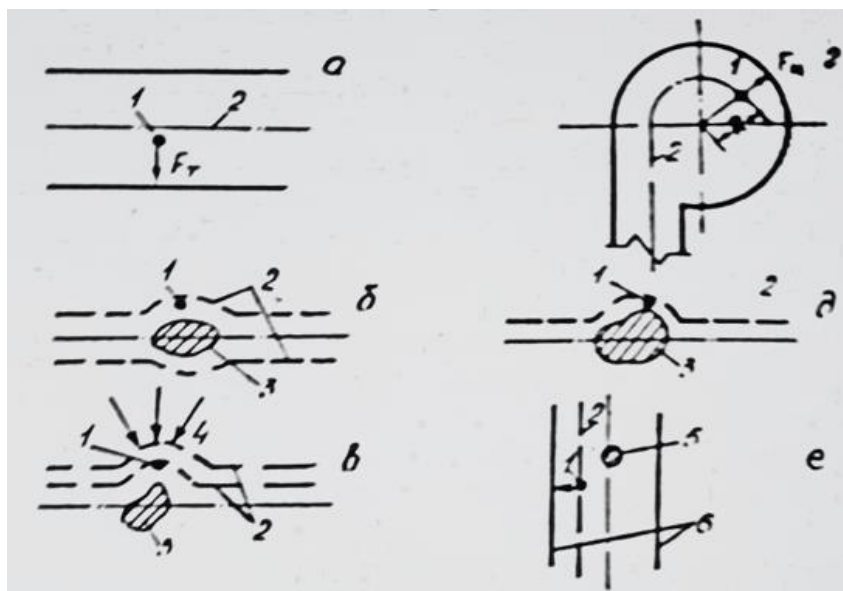


Рис. 5. Схемы выделения частиц пыли из пылевоздушного потока: а — под действием силы тяжести; б — столкновение частицы пыли с телом осаждения; в — диффузионное осаждение; г — под действием центробежной силы; д — прямое осаждение; е — термопреципитация. Условные обозначения: 1 — частица пыли; 2 — направление воздушного потока; 3 — тело осаждения; 4 — силы диффузии; 5 — нагретое тело; 6 — холодные поверхности

Осаждение под действием силы тяжести, или гравитационное осаждение (пылеосадительные камеры), — наиболее простой вид пылеулавливания, при котором сила тяжести, действующая на пылинку шарообразной формы, составляет

$$F_T = m_{\text{ч}}g = \frac{\pi d_{\text{ч}}^3}{6} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}})g, \quad (1.4)$$

где $m_{\text{ч}}$ — масса частиц, кг; g — ускорение свободного падения, м/с², $d_{\text{ч}}$ — диаметр, м; $\rho_{\text{ч}}$ — плотность частиц, кг/м³; $\rho_{\text{г}}$ — плотность воздуха, кг/м³.

Скорость осаждения частиц пыли может быть определена формуле [23]:

$$v_{\text{T}} = \frac{d_{\text{ч}}^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}})}{18\mu_{\text{г}}} g, \quad (1.5)$$

где $\mu_{\text{г}}$ — динамическая вязкость воздуха, Н•с/м².

Скорость падения частиц плотностью $\rho_{\text{ч}} = 1\,000$ кг/м³ и диаметром 100, 10 и 1 мкм в неподвижном воздухе может иметь следующие значения: 0,3, 0,003 и 0,00003 м/с.

Центробежная сила, развивающаяся при вращении пылевоздушного потока, определяется по формуле:

$$F_{\text{ц}} = \frac{\pi d_{\text{ч}}}{6} (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}}) \cdot \frac{v_{\text{w}}^2}{R}, \quad (1.6)$$

где v_{w} - скорость вращения, м/с, R - радиус вращения потока вокруг неподвижной оси, м.

Способ осаждения под действием центробежной силы применяется в циклонах, мультициклонах, ротационных аппаратах. Используется он и при мокром пылеулавливании при осаждении частиц на поверхности пузырька (например, при барботаже).

Скорость центробежного осаждения шаровой частицы составляет

$$v_{\text{ц}} = \frac{d_{\text{ч}}^2(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}})}{18\mu_{\text{г}}} \cdot \frac{v_{\text{w}}}{R}, \quad (1.7)$$

При инерционном осаждении масса частицы или скорость её движения настолько велики, что частица не может следовать вместе с воздухом по линии тока, огибающей препятствие, а стремясь по инерции продолжить свое движение, сталкивается с препятствием и осаждается на нем.

Силы инерции движущихся частиц пыли используются при фильтрации воздуха через пористые слои (волокнистые и тканевые фильтры), а также в скрубберах при столкновении частиц с каплями.

Интенсивность инерционного осаждения можно выразить с помощью критерия Стокса, учитывающего соотношение инерционной силы, действующей на частицу, и силы сопротивления среды. Критерий численно равен отношению расстояния, проходимого частицей с начальной скоростью $v_{\text{ч}}$ при отсутствии внешних сил до остановки $l_{\text{ч}} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} v_{\text{ч}}}{18\mu_{\text{г}}}$, к характерному размеру обтекаемого тела (например, диаметру капли или волокна):

$$\text{Stk} = \frac{d_{\text{ч}}^2 \rho_{\text{ч}} v_{\text{ч}}}{18 \mu_{\text{г}} D_{\text{в}}}, \quad (1.8)$$

где $D_{\text{в}}$ — диаметр волокна или капли, м.

Процесс электрического осаждения пыли в электрофильтрах происходит в поле коронного разряда, где частицам сообщается электрический заряд. В результате действия электрического поля на заряженные частицы они выводятся из очищаемого газового потока и осаждаются на осадительном электроде.

Сила внешнего электрического поля напряженностью E , действующая на заряженную частицу, равняется [23]:

$$F_E = qE, \quad (1.9)$$

где q — заряд частицы, Кл; E — напряженность электрического поля коронного разряда, В/м.

При коронном разряде частицы пыли приобретают заряд за счет бомбардировки частиц ионами, движущимися в направлении силовых линий поля, и диффузии ионов вследствие их теплового движения. Первый механизм имеет важное значение для пылинок размером более 1 мкм, второй — менее 0,2 мкм. При размерах частиц 0,2 — 1 мкм эффективны оба механизма.

Величина максимального заряда частицы диаметром более 1 мкм может быть рассчитана по формуле [23]:

$$q = \pi \epsilon_0 \left(1 + 2 \frac{\epsilon - 1}{\epsilon + 2} \right) E d_{\text{ч}}^2, \quad (1.10)$$

где ϵ_0 — абсолютная ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м) и ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость частицы (для кварца и серы $\epsilon \sim 4$ гипса $\epsilon \sim 5$, окислов металлов $\epsilon \sim 12$ — 18).

Для расчета величины заряда пылинки при диффузионном механизме зарядки можно воспользоваться формулой [24]:

$$q_D \approx 10^8 d_{\text{ч}} e, \quad (1.11)$$

где e — величина заряда электрона, Кл ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$).

Таким образом, максимальная величина заряда частиц более 1 мкм пропорциональна квадрату диаметра частиц, а менее 0,2 мкм — диаметру частиц.

Минимальное напряжение, при котором возникает коронный разряд, определяется соотношением [25]:

$$U_0 = E_0 R_1 \ln \frac{R_2}{R_1}, \quad (1.12)$$

где E_0 — критическая напряженность электрического поля, при которой возникает корона, В/м; R_1 и R_2 — радиусы коронирующего и осадительного электродов соответственно, м.

Скорость осаждения заряженных частиц в области применения закона Стокса можно рассчитать, приравнивая кулонову силу к стоксовой [23]:

$$U_{\text{ч}} = \frac{qE C_k}{3\pi\mu_r d_{\text{ч}}}, \quad (1.13)$$

где C_k — поправка Кенингема — Милликена, учитывающая повышение подвижности частиц, размер которых сравним со средней длиной свободного пробега газовых молекул.

Значения поправок C_k для воздуха при нормальных условиях таковы:

| | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|------|------|-----|------|------|------|------|
| $d_{\text{ч}}$ (мкм) | 0,003 | 0,01 | 0,03 | 0,1 | 0,3 | 1,0 | 3,0 | 10,0 |
| C_k | 90,0 | 24,5 | 7,9 | 2,9 | 1,57 | 1,16 | 1,03 | 1,0 |

Следует подчеркнуть, что электрическое осаждение частиц возможно и при взаимодействии пылинок с каплями (или пузырьками), причем электрические заряды частицы пыли и капли диспергируемой жидкости можно получать как отдельно, так и вместе. Электрическое осаждение происходит и при прохождении пыли через фильтрующие перегородки.

Конструкция электрофильтров определяется составом очищаемого воздуха, концентрацией и свойствами пыли, параметрами пылевоздушного потока, эффективностью очистки.

Кроме рассмотренных способов улавливания пыли можно отметить и ряд других: диффузионный (тепловое движение частиц), турбулентный (при большой турбулизации потока), осаждение нагретых частиц на более холодное тело (эффект термопреципитации), воздействие магнитного поля на ферромагнитные частицы.

На рис. 6 приведена классификация аппаратов, использующих различные механизмы осаждения частиц пыли.

Область рационального применения некоторых пылеуловителей показана на рис. 7.

Эффективность работы пылеуловителей характеризуется степенью очистки:

$$\eta = \frac{C_{\text{вх}} - C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}} = 1 - \frac{C_{\text{вых}}}{C_{\text{вх}}}, \quad (1.14)$$

где $C_{вх}$ и $C_{вых}$ — массовые концентрации пыли в воздухе до и после пылеулавливания, мг/м³.

При наличии нескольких ступеней очистки общая эффективность составит:

$$\eta = 1 - (1 - \eta_1) \cdot (1 - \eta_2) \dots (1 - \eta_n), \quad (1.15)$$

где $\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n$ — степень очистки соответственно на 1-й, 2-й и n-й ступенях.

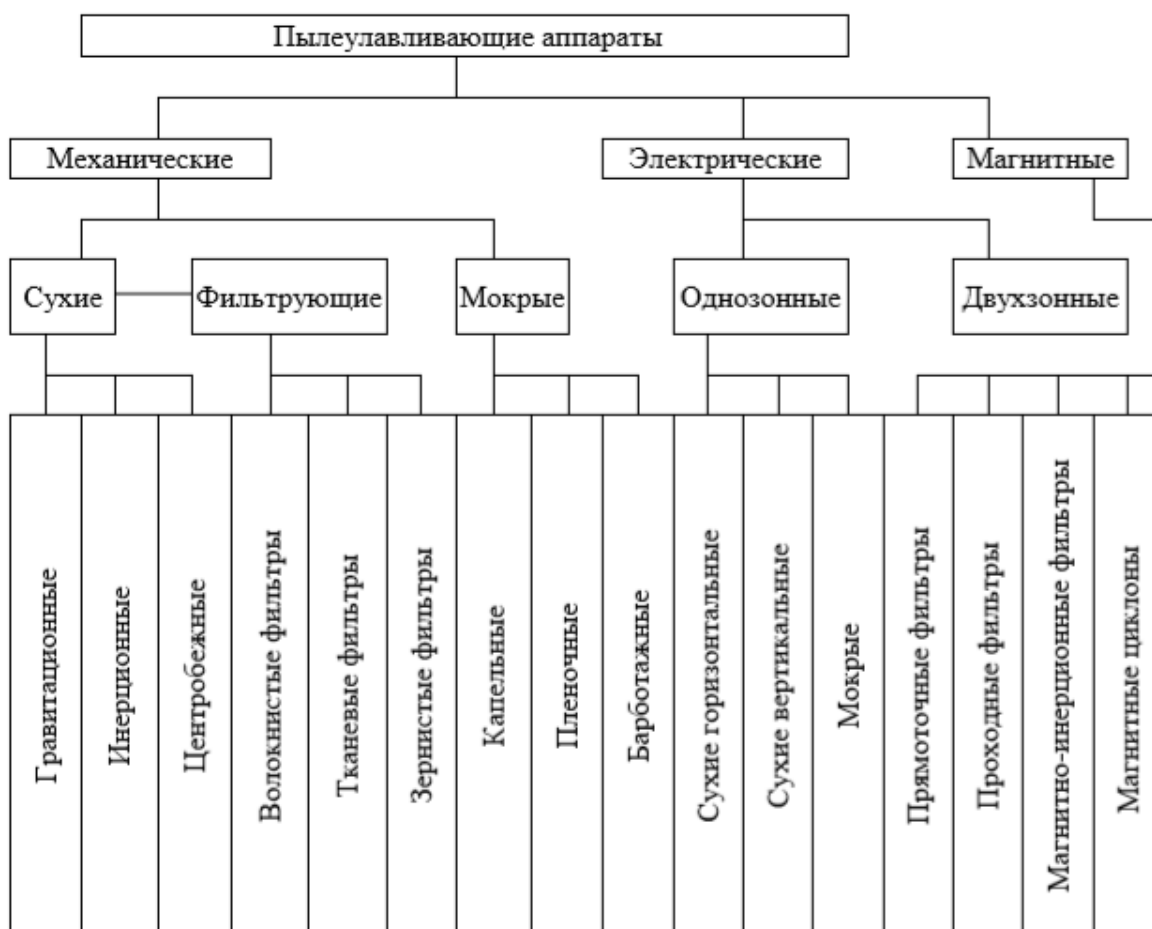


Рис. 6. Классификация пылеулавливающих аппаратов

| Пылеуловители | Размер частиц пыли, мкм | | | | | |
|---|-------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|-------|
| | 0,1 | 0,1 - 5,0 | 5,0 - 6,0 | 6,0 - 500 | 500 - 3000 | >3000 |
| Пылеосадительные камеры | | | | | | |
| Циклоны | | | | | | |
| Мультициклоны и группы циклонов малого диаметра | | | | | | |
| Тканевые фильтры | | | | | | |
| Мокрые пылеуловители | | | | | | |
| Ультразвуковые коагуляторы | | | | | | |
| Электрофильтры | | | | | | |

Рис. 7. Область рационального использования различных типов пылеуловителей (целесообразность использования различных пылеуловителей показана штриховкой)

Выбор способов пылеулавливания зависит от требуемой степени очистки и определяется конкретными условиями производства. Так, для очистки воздуха, подаваемого в кабину буровых станков СБШ-250, от высокодисперсных частиц разработан двухступенчатый пылеуловитель, конструкция которого показана на рис. 8 [26, 27].

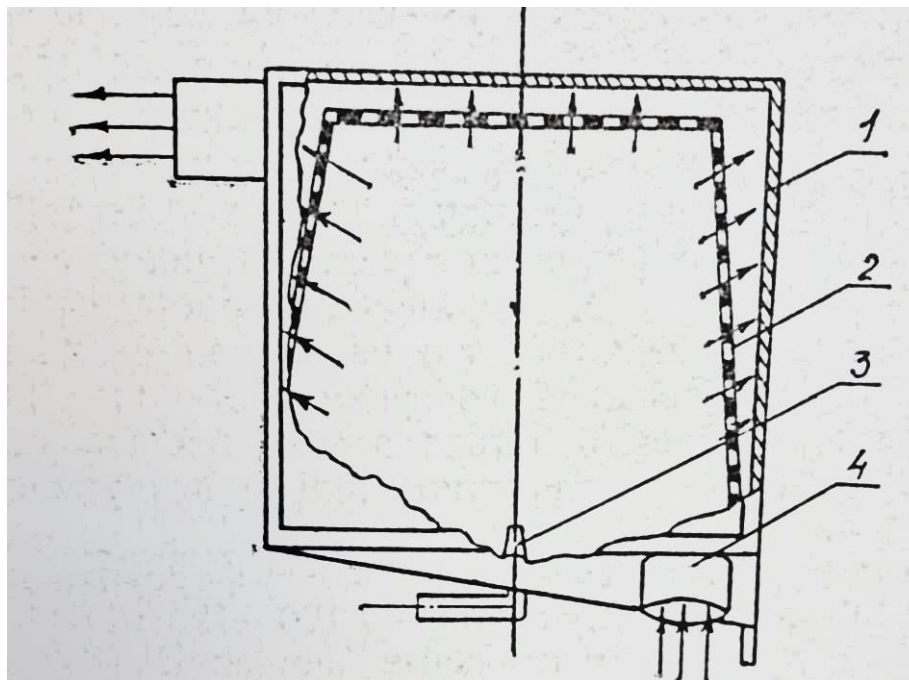


Рис. 8. Воздухоочистительная установка: 1 — корпус; 2 — фильтр тонкой очистки; 3 — форсунка; 4 — воздуховод

На первой ступени очистки используется распыленная вода, а на второй — смоченный фильтр из нетканых иглопробивных материалов.

Улавливание частиц пыли при движении воздушного потока через зону распыленной воды представляет собой коагуляционный процесс, происходящий за счет многократного соударения капель воды и пылинок. Смоченные и соответственно утяжеленные частицы пыли вместе с каплями стекают вниз и отводятся за пределы бурового станка.

Осаждение взвешенных частиц пыли каплями обусловливается совокупным действием сил инерции, зацепления, диффузии, седиментации и др. Основной силой является инерционная, остальные в отдельности имеют второстепенное значение, но их совместное влияние на осаждение можно считать постоянным фактором пылевоздушного потока и факела распыленной воды при условии, что у обоих потоков параметры во время орошения остаются постоянными.

Теоретическая эффективность очистки воздуха распыленной водой может быть представлена в виде [26]:

$$\eta_{\text{в}} = 1 - 0,75e^{-\frac{18q_{\text{в}}H_{\text{ф}}}{\pi^2 R_{\text{ф}}^2 v_{\text{к}}} \sum_{i=1}^m \frac{a_i S_{ij}}{d_{\text{к}}^3}}, \quad (1.16)$$

где $q_{\text{в}}$ — расход воды, м³/ч; $H_{\text{ф}}$ — высота факела форсунки, м; $R_{\text{ф}}$ — радиус факела форсунки, м; $v_{\text{к}}$ — скорость капель относительно воздушного потока, м/с; a_i — весовая доля капель; S_{ij} — эффективная площадь столкновения частицы пыли с каплей, м²; $d_{\text{к}}$ — диаметр капель, м; m — количество фракций капель; i, j — номер и порядок фракции соответственно частицы пыли и капли.

Из формулы (1.16) видно, что наибольшая эффективность осаждения пыли каплями воды наблюдается в активной зоне факела, т.е. там, где капли сохраняют начальную скорость вылета.

Исследованиями установлено, что начальная скорость вылета капель из сопла центробежной форсунки составляет 21,7 м/с, а средняя скорость воздушного потока в зоне распыления воды — 4,5 м/с. Тогда скорость капель относительно воздушного потока $v_{\text{к}}$ равна 17,2 м/с.

Средний диаметр образующихся в факеле форсунки капель воды достигает 150 мкм (преимущественно 100 — 125 мкм).

Вычисленные и экспериментальные значения эффективности улавливания каплями частиц пыли таковы:

| | | | | |
|------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|
| $d_{\text{ч}}$ (мкм) | 0,44 - 1,4 | 1,4 - 2,8 | 2,8 - 4,2 | 4,2 - 5,6 |
| $\eta_{\text{в.выч.}}$ | 0,123 | 0,342 | 0,581 | 0,597 |
| $\eta_{\text{в.факт}}$ | 0,174 | 0,364 | 0,601 | 0,623 |

Как следует из приведенных данных, фактическая эффективность очистки запыленного воздуха превышает расчетную и повышается с увеличением размеров частиц пыли.

Окончательная очистка воздуха происходит при его прохождении через смоченный фильтрующий материал, где часть осевшей пыли постоянно смывается диспергируемой водой, что к тому же значительно увеличивает срок службы фильтра.

Движение воздуха в фильтрующем иглопробивном материале носит сложный характер, поскольку поток непрерывно меняет свое направление, огибая беспорядочно расположенные волокна и капли воды.

Исходя из того, что в смоченном фильтре волокна расположены в слое жидкости поперек движению воздуха на одинаковом расстоянии друг от друга, процесс осаждения пыли можно рассматривать как совместный результат взаимодействия частиц с волокнами и с пленкой жидкости пузырьков, сформировавшихся в иглопробивных отверстиях и порах.

Осаждение частиц на поверхности пузырьков происходит благодаря седиментации и диффузии. Эффектом зацепления и захватом инерцией можно пренебречь, так как размер пылинок значительно меньше размера пузырьков. При образовании и движении пузырьков внутри них не возникает циркуляции газов, вызывающей появление центробежной силы из-за наличия волокон в слое жидкости.

Согласно работе [28], скорость движения пузырьков составляет обычно 0,28 — 0,3 м/с, а вычисленный средний диаметр пузырька — $1,1 \cdot 10^{-3}$ м.

Улавливание частиц пыли волокнами фильтрующего материала при набегании на них струи воздушного потока обеспечивается в основном эффектами инерционным и зацепления, а также диффузией частиц.

Соотношения диаметра частиц пыли с величиной эффективности пылеулавливания смоченным фильтром в целом следующие:

| | | | | |
|-----------------|------|------|------|------|
| d_p (мкм) | 0,4 | 1,0 | 2,0 | 4,0 |
| $\eta_{сф}$ (%) | 95,2 | 99,4 | 99,5 | 99,9 |

Величина $\eta_{сф}$ рассчитана по формулам, предложенным Н. А. Фуксом [29].

Степень очистки воздуха от тонкодисперсной пыли в установке при совместном использовании распыленной воды и смоченного нетканого материала составляет 95 — 99%.

В электроfiltре (рис. 9) высокая эффективность улавливания пыли при сравнительно малых габаритах достигается как за счет действия сил электрического поля, так и инерции [30].

Электрофильтр работает следующим образом. На пластинчатые коронирующие электроды подается отрицательный потенциал, а на осадительный — положительный. В пространстве между электродами создается поле отрицательной короны. Частицы пыли, проходя через щели в воздухоподводящем канале, получают контактный электрический заряд и затем в межэлектродном пространстве заряжаются дополнительно до максимальной величины. Заряженные частицы пыли под действием

электрических сил направляются перпендикулярно к осадительному электроду. При этом в связи с изменением направления пылевоздушного потока дополнительно происходит инерционное осаждение пыли.

Важным фактором, снижающим запыленность воздуха в производственных помещениях, является уборка осевшей пыли, которая под действием воздушных потоков и в результате колебаний или вибрации оборудования может неоднократно переходить во взвешенное состояние и загрязнять атмосферу рабочих зон. Ручная уборка малопродуктивна и неэффективна, так как требует больших затрат физического труда.

В настоящее время на многих промышленных предприятиях для уборки помещений от пыли используются различные стационарные и передвижные средства.

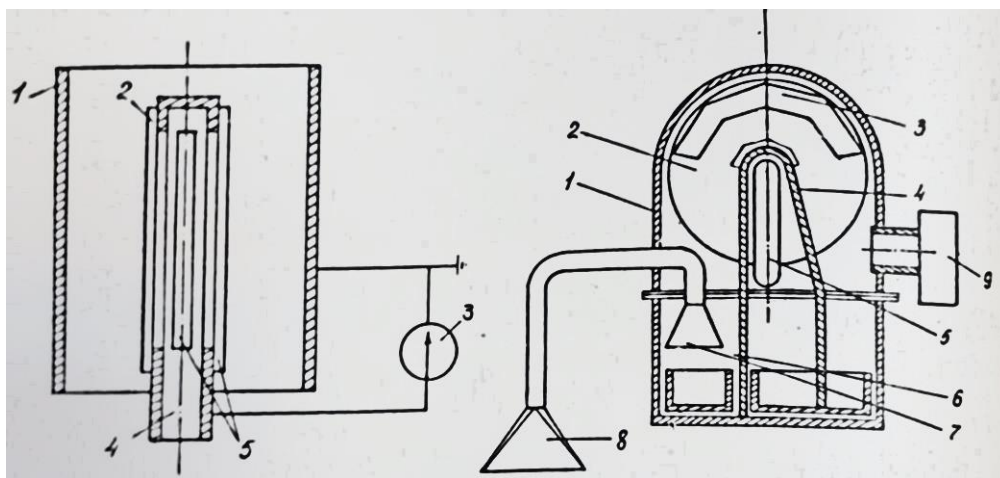


Рис. 9. Схема электрофильтра: 1 — осадительный электрод; 2 — пластинчатые коронирующие электроды, установленные под углом друг к другу; 3 — высоковольтный источник питания; 4 — воздухоподводящий канал; 5 — щели

Рис. 10. Схема пылеуборочного устройства: 1 — корпус; 2 — осадительный электрод; 3 — коронирующий электрод; 4 — дугообразная перегородка; 5 — скребок; 6 — входная камера; 7 — инерционный пылеосадитель; 8 — сопло с входным патрубком; 9 — побудитель тяги

На рис. 10 показана конструкция передвижного пылеуборочного устройства, в котором используются инерционный и электрический механизмы осаждения частиц [31].

При работе устройства пылевоздушный поток поступает в инерционный осадитель и затем, изменяя направление на 180° , — в электрофильтр. Осадительные электроды представляют собой плоские диски, закрепленные на валу и снабженные скребками, а коронирующие выполнены в виде полуколец.

Поскольку очистка осадительных электродов от осевшей пыли производится постоянно, исключается появление обратной короны и возможно значительное увеличение напряженности электрического поля. Это обеспечивает высокую степень улавливания дисперсной пыли.

Испытания установки в условиях Балхашского горно-металлургического комбината показали, что эффективность осаждения составляет 98%. Производительность по площади при толщине слоя пыли 1 мм равна 300 м², 2 мм — 280 м² и 3 мм — 240 м². При этом за час убирается до 225 кг пыли.

Наряду с пылеулавливанием основным методом снижения выделения пыли в атмосферу, особенно в местах её образования, является пылеподавление водой, водовоздушной смесью, аэрированными растворами и другими способами гидрообеспыливания. При этом особый эффект достигается, когда жидкость имеет высокую кинетическую энергию (инерцию) либо поверхностную активность по отношению к пыли и большую степень дисперсности (адгезию) (табл. 13) [32].

Таблица 13. Основные характеристики различных способов гидрообеспыливания

| Способ гидрообеспыливания | Характеристика каплеь | | Кинетическая энергия каплеь, Дж/м ² | Эффективность осаждения частиц менее 10 мкм, % |
|---------------------------|-------------------------------------|------------------------|--|--|
| | радиус, м | скорость движения, м/с | | |
| Орошение | $(3-10) \cdot 10^{-4}$ | 5 - 50 | 10 ² | 40 |
| Пневмогидроорошение | $(3-10) \cdot 10^{-5}$ | 10 - 100 | 10 ³ | 90 |
| Высоконапорное орошение | $(3-10) \cdot 10^{-5}$ | 30 - 400 | 10 ⁴ | 90 |
| Туман | 10 ⁻⁶ — 10 ⁻⁹ | 10 - 30 | 10 ⁻¹ | 90 |
| Пенный аэрозоль | $(1-10) \cdot 10^{-4}$ | 10 - 30 | 2 | 95 |
| Пены | $(1-10) \cdot 10^{-3}$ | 2 - 10 | 2 | 97 |

Изменение интенсивности выделения пыли при пылеподавлении на примере Сибайского карьера приведено в табл. 14 [13].

Наиболее доступный и простой способ гидрообеспыливания — орошение водой, которое может осуществляться по следующим взаимно дополняющим друг друга направлениям: подача воды в зону разрушения горной массы исполнительным органом оборудования в целях подавления пыли в момент её образования; орошение перемещаемой исполнительными органами отбитой горной массы для связывания содержащейся в ней пыли; создание водяной завесы, осаждающей перешедшую во взвешенное состояние пыль.

Эффективность взаимодействия каплеь воды и пылевых частиц зависит как от условий применения орошения (скорость движения воздуха в зоне орошения, смачиваемость, дисперсный состав пыли и др.), так и от параметров жидкости (дисперсность каплеь, давление и расход воды, тип форсунок и т.д.).

Установлено, что каплеь радиусом 100 мкм при скорости её движения 5, 10 и 20 м/с не могут быть захвачены пылинки радиусом соответственно 3,2 и 1,5 мкм, тогда как капля радиусом 10 мкм захватывает их полностью.

Однако излишнее уменьшение размера каплеь не желательно так как мелкие капли, смочив пылинку, незначительно увеличивают её массу, что не

способствует быстрому выпадению частиц из воздушного потока. Кроме того, слишком мелкие капли быстро испаряются и при этом создается направленное движение воздуха от них, препятствующее осаждению пыли (стефаново течение). В связи с этим оптимальным является диаметр капель 20 — 50 мкм, а скорость — менее 20 — 30 м/с [33, 34].

Таблица 14. Изменение интенсивности образования и выделения пыли при пылеподавлении

| Источник пылеобразования | Интенсивность пылеобразования, мг/с | | Количество выделяемой пыли в смену, кг | |
|--------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|-------|
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Взрывные работы | 70 г/м ³ горной массы | 60 г/м ³ горной массы | 3 400 | 1 200 |
| Эксплуатация горной массы | 390 | 38,3 | 26,5 | 2,6 |
| Скиповый транспорт: | | | | |
| нижняя площадка | 520 | 104 | 16,7 | 3,3 |
| верхняя площадка | 770 | 154 | — | — |
| Бурение станком СБШ-250 | 206 | 20 | 10,9 | 1,05 |
| Вторичное дробление негабарита | 19 | 2,2 | 0,175 | 0,02 |

Примечание. 1 — без пылеподавления, 2 — с пылеподавлением.

Эффективность пылеподавления в результате орошения водой при эксплуатации горной массы в карьерах определяется выражением [12]:

$$\eta = 1 - e^{\alpha(\varphi_e - \varphi)}, \quad (1.17)$$

где α — коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение запыленности воздуха при изменении влажности пыли; φ_e — естественная влажность пылевидных частиц по массе, %; φ — влажность горной массы, при эксплуатации которой запыленность не превышает предельно допустимой концентрации.

Для условий Зырянского карьера при $\alpha = 0,475$, $\varphi_e = 3,5\%$, $\varphi = 9,7\%$ эффективность пылеподавления составляла около 95%.

В настоящее время для орошения экскаваторных забоев водой широко применяют самоходные гидромониторные установки на базе автосамосвалов БелАЗ-540 и КраЗ с цистерной емкостью 35 м³. Расход воды для пылеподавления составляет 3 м³ на 100 м³ горной массы.

При орошении пылящей поверхности максимальное количество воды, которое может удерживаться на поверхности частицы пыли, соответствует физически связанной влаге или максимальной молекулярной влагоемкости. Величина её для песчаных частиц равна 2 — 3, супесчаных — 5 — 7, суглинистых — 15 — 20 и глинистых — 35% и более. Толщина водяной

плёнки при этом на частицах составляет 15 — 20 молекул, а по некоторым данным — менее 0,5 мкм.

Удельный расход воды, необходимой для орошения поверхности из гидрофильной пыли (кг/м²), составляет [10]:

$$q_{см} = h_c \rho_v w_{м.м.в} , \quad (1.18)$$

где h_c — необходимая глубина смачивания, м; ρ_v — плотность воды, кг/м³; $w_{м.м.в}$ — максимальная молекулярная влагоемкость, %.

При смачивании поверхности из гидрофобной пыли необходимо для предотвращения сдувания покрыть её водяной пленкой, толщину которой можно приближенно принять равной диаметру падающих капель. Максимальный размер капель не превышает 5 — 6,4 мм, а основной — от нескольких микрон до 1 мм.

Для поверхности, состоящей из плохо смачивающейся пыли, удельный расход воды можно определить по формуле

$$q'_{см} = d_k \rho_v , \quad (1.19)$$

Немаловажное значение при пылеподавлении водой имеет также время смачивания частиц пыли, которое должно быть равно или меньше времени соударения частиц с каплей. Трудность смачивания пылинок может быть обусловлена как адсорбцией прочного слоя молекул воздуха на поверхности пылинок, так и малыми размерами частиц.

Следует отметить, что пылеподавление с применением воды при каждом производственном процессе имеет свои особенности. Так, при шарошечном бурении скважин широко применяется водовоздушная смесь (рис. 11), получаемая в специальных смесителях или вертлюге распылением воды в потоке сжатого воздуха. Происходит образование мелких капель, размеры которых на выходе из продувочных отверстий долота уменьшаются до 15 — 30 мкм, и в призабойном пространстве создается плотный факел, перекрывающий всю поверхность забоя. Вихреобразование повышает вероятность смачивания пылевых частиц каплями воды. Выходящий из скважины пульпообразный шлам отбрасывается в сторону от устья скважины воздушным потоком, создаваемым вентилятором. Крупные частицы оседают возле устья скважины, а более мелкие уносятся на расстояние 8 — 12 м. Шлам со временем затвердевает и не является источником вторичного пылевыделения. Расход воды в зависимости от физико-механических свойств горных пород, и диаметра буримых скважин колеблется от 8 до 20 л/мин [35].

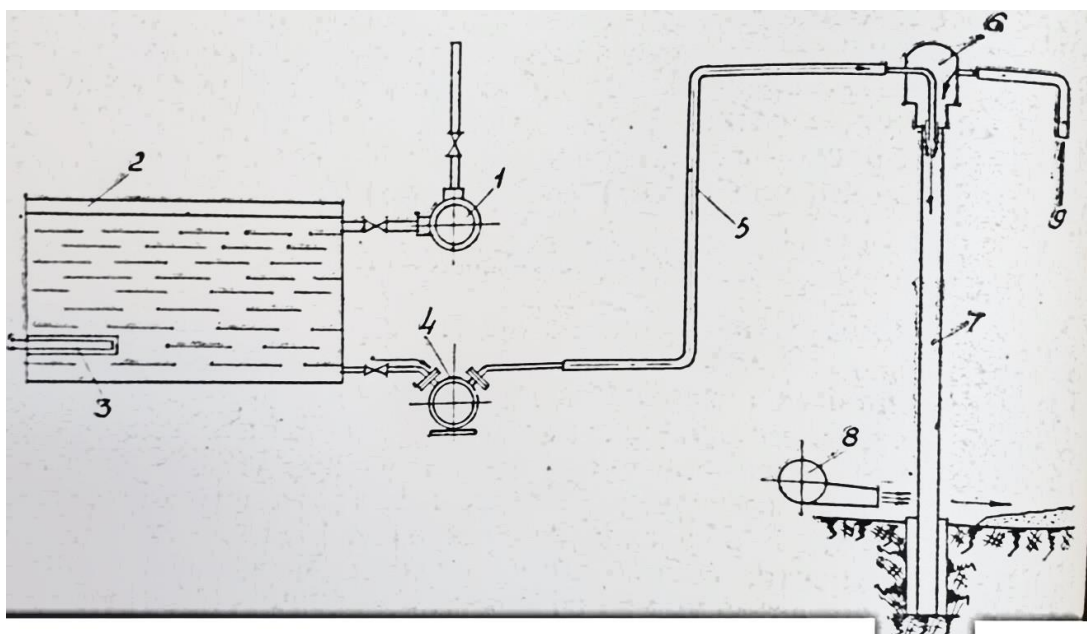


Рис. 11. Схема пылеподавления водовоздушной смесью: 1 — насос; 2 — бак для воды; 3 — электронагреватель; 4 — насос; 5 — шланговый водопровод; 6 — вертлюг; 7 — буровой став; 8 — вентилятор; 9 — сжатый воздух от компрессора

Вместе с тем эффективность смачивания водой высокодисперсных фракций пыли при бурении недостаточно высока, так как вода имеет относительно высокое поверхностное натяжение ($72,75 \cdot 10^{-3}$ Н/м), следствием этого является повышенная запыленность в кабине бурового станка. Кроме того, возможно отрицательное влияние воздушной смеси на срок службы долот. Так, на железных рудниках фирмы «Айрон Ор Ком» (Канада) срок службы бурового долота при впрыскивании воды в сжатый воздух сокращается на 20%.

Для пылеподавления при дроблении, грохочении, перемалывании пород и в ряде других случаев в США и Франции применяют способ «Зоник-DS», основанный на незначительном увлажнении взвешенных в воздухе частиц пыли туманом из капель воды. Средний расход воды, подаваемой в туманообразователь под давлением 0,1 МПа, составляет 1 л/т горной массы, а расход сжатого воздуха под давлением 0,15 — 0,3 МПа — в среднем $6 \text{ м}^3/\text{ч}$. Применение звукового туманообразователя позволяет создать туман, содержащий около 100 000 капель воды в 1 см^3 воздуха, а обычного пневматического оросителя — лишь 100 — 1 000 капель воды [13].

Для повышения смачивающих свойств воды применяют добавки ПАВ, которые, адсорбируясь на поверхности раздела фаз жидкость — воздух, снижают поверхностную энергию (поверхностное натяжение) воды, улучшают её диспергирование и степень взаимодействия с пылью. Например, при добавлении к воде растворимой присадки ВНИИНП-17, предложенной ИГД Минчермета СССР, в объеме 0,3 — 0,5% эффективно снижается пылевыведение в процессе работы станков шарошечного бурения. Присадка состоит из экстракта селективной очистки трансформаторного

масла с включением антикоррозийных, эмульсионных и поверхностно-активных веществ [10].

Средняя концентрация пыли при бурении скважин с использованием воздушно-эмульсионной смеси составляет на рабочей площадке станка 1,8 мг/м³, а в кабине машиниста 0,8 мг/м³, тогда как без пылеподавления — соответственно 192,8 и 56,2 мг/м³.

При пылеподавлении растворами ПАВ процесс захвата пылинки каплей переходит с поверхности в глубь капли, что уменьшает вероятность срыва уже захваченных частиц с поверхности капли. При этом с понижением поверхностного натяжения граничного слоя жидкости интенсивнее происходит смачивание частиц, что и обуславливает повышение эффективности подавления пыли воздушно-эмульсионной смесью. Кроме того, на процесс взаимодействия конечных пылинок с каплями существенное влияние оказывает скорость их встречи (табл. 15).

Из табл. 15 видно, что для повышения эффекта захвата тонкодисперсных пылинок каплями раствора необходимо увеличивать скорость их встречи и одновременно снижать поверхностное натяжение жидкости.

Установлено, что во многих случаях тонкодисперсные фракции пыли при малых скоростях встречи с каплями не в состоянии преодолеть аэродинамический барьер и попасть в зону действия молекулярных сил капли. Частицы, преодолевшие барьер, обладают достаточной скоростью, при которой происходит их захват каплями за счет сил инерции.

Действие молекулярных сил начинается при сближении капли с пылинкой на расстоянии менее 80 нм и заканчивается прочным контактом (коагуляцией) между пылинкой и каплей.

Процесс коагуляции пыли при захвате каплями происходит в три этапа: адгезия частицы к капле и образование краевого угла смачивания, растекание жидкости по поверхности пылинки; втягивание частицы и проникновение её внутрь капли.

Наименьшее значение скорости захвата определяется по формуле [36]:

$$v_3 = \sqrt{\frac{12W_3}{\rho_ч d_ч}}, \quad (1.20)$$

где W_3 — энергия инерционного захвата пылинки каплей, Дж/м².

Таблица 15. Зависимость диаметров захватываемой пыли (мкм) от скорости встречи с каплями и их поверхностного натяжения

| Относительная скорость встречи, м/с | Поверхностное натяжение, 10^{-3} Н/м | | | | |
|-------------------------------------|--|------|------|------|------|
| | 72,5 | 60 | 50 | 40 | 30 |
| 5 | 29,0 | 27,2 | 26,0 | 24,6 | 22,5 |
| 10 | 20,0 | 19,2 | 18,4 | 17,4 | 16,2 |
| 15 | 16,4 | 15,8 | 15,0 | 14,2 | 13,2 |
| 50 | 9,0 | 8,6 | 8,2 | 7,8 | 7,2 |
| 75 | 7,2 | 7,0 | 6,8 | 6,4 | 6,2 |
| 100 | 6,4 | 6,2 | 5,8 | 5,6 | 5,2 |

Величина W_3 может быть вычислена по формуле:

$$W_3 = \sigma_{ж.г} (1 - \cos\theta), \quad (1.21)$$

где $\sigma_{ж.г}$ — поверхностное натяжение жидкости, Н/м; θ — краевой угол смачивания, характеризующий адгезию пыли к жидкости и газу, град.

Минимальный диаметр пылинок при условии $d_k > d_{ч}$ можно рассчитать по формуле

$$d_{ч} = \frac{12\sigma_{ж.г}(1 - \cos\theta)}{\rho_{ч}(v_k \pm v_b)^2}, \quad (1.22)$$

где v_b — скорость пылевоздушного потока, м/с.

Значение $\cos\theta$ меняется от 1 до -1, а угол θ — от 0 до 180° . При $0 < \theta < 90^\circ$ жидкость хорошо смачивает пыль, т.е. пыль гидрофильна. При $90^\circ < \theta < 180^\circ$ жидкость плохо смачивает пыль. В случае $\theta = 180^\circ$ энергия, затрачиваемая на смачивание пыли, становится равной $2\sigma_{ж.г}$ (максимальная) — условие гидрофобности.

Практически полного несмачивания пыли не наблюдается, так как между жидкостью и частицей пыли всегда действуют силы притяжения.

Улавливание пылинок происходит также за счет их прилипания к каплям без погружения внутрь капли, когда жидкость быстро растекается по твердой поверхности и образуется полусфера. Энергия налипания частицы на каплю оказывается вдвое меньше энергии её полного захвата.

Связь между скоростями захвата v_3 и налипания v_n можно выразить соотношением

$$v_n \approx 0,7v_3, \quad (1.23)$$

В отечественной практике часто применяют комбинированные смачиватели — 0,05 — 0,1%-ные растворы БД и ОП-10 с добавлением в качестве пептизатора 0,25%-го раствора сульфит-целлюлозного щелока или сульфитно-спиртовой барды. Кроме того, используют также эмульсии, состоящие из воды и масла с добавкой смачивателя ДБ.

Смачиватель ДБ представляет собой маслообразную вязкую пасту коричневого цвета со слабым ароматическим запахом. При 20°С ДБ смешивается с водой в любых соотношениях, образуя коллоидные растворы. Величина поверхностного натяжения 0,1%-ного раствора равна $(31—38) \cdot 10^{-3}$ Н/м. Признаков токсичности при использовании не наблюдается.

В последние годы отечественной промышленностью освоен новый высокоэффективный смачиватель «Синтанол — ДТ-7» [8].

Следует отметить, что тип ПАВ выбирается в зависимости от физико-химических свойств пыли и технико-экономических показателей производства. Основные причины, ограничивающие применение ПАВ, — возможное усложнение технологического оборудования, повышение вредности водных аэрозолей и быстрый износ металлических поверхностей оборудования.

В качестве добавки может быть использована и поваренная соль, которая во много раз дешевле смачивателей типа ДБ и ОП, не обладает биологической токсичностью, снижает агрессивность пыли. Исследования показали, что 0,1%-ный раствор поваренной соли повышает смачиваемую способность воды на 30%.

При бурении разведочных, нефтяных и газовых скважин широко применяются аэрированные растворы, которые представляют собой пеносуспензии, образующиеся при насыщении воздухом воды, естественных промывочных жидкостей или глинистых растворов, содержащих добавки пенообразователей (например, ПО-1). При оптимальных концентрациях добавок обеспечивается предельное снижение поверхностного натяжения жидкой фазы, что предотвращает коалесценцию (укрупнение и лопание) пузырьков пены. Так, наибольшее снижение поверхностного натяжения воды (в 1,92 раза) обеспечивается при 0,1%-ной концентрации ПО-1.

Благодаря различной степени насыщения суспензий воздухом можно получить аэрированные растворы с плотностью меньше единицы, которые обладают высокой вязкостью и несущей способностью по отношению к грубодисперсным частицам.

Плотности аэрированных растворов следующие:

| | | | | | |
|--|------|------|------|-----|-----|
| Количество добавки ПО-1 (%).. | 0,01 | 0,03 | 0,05 | 0,1 | 0,2 |
| Плотность (кг/м ³) | 900 | 800 | 700 | 600 | 500 |

В настоящее время эффективным способом подавления пыли является применение высокократной воздушно-механической пены. Она обеспечивает увеличение сил сцепления между частицами пыли, поверхности взаимодействия их с жидкостью и улучшение условий контакта между ними, а также экранирование очагов пылеобразования при одновременном снижении расхода воды. При пылеподавлении пеной по сравнению с орошением достигаются более высокая эффективность, исключая условия, при которых переувлажнение материалов сопровождается нарушением

установленного ритма технологического процесса или качества продукции; значительно меньшее влияние на изменение микроклимата рабочих мест и их санитарно-гигиенических условий; простота обслуживания и экономичность. В отдельных случаях использования пенного способа обеспечивает решение ряда вопросов, связанных с улучшением условий труда на рабочих местах. Например, при резке горячего металла пена экранирует окружающую производственную среду от пыли- и тепловыделений и шума, а при транспортировке сыпучих горячих материалов – от выделений пыли, тепла и газа [37].

В угольной, металлургической и горнорудной промышленности накоплен большой опыт применения пены для обеспыливания различных технологических процессов. Так, в горнорудной промышленности пылеподавление пеной при взрывных работах в карьерах обеспечило снижение запыленности атмосферы после взрыва до предельно допустимой концентрации. Эффективность подавления пыли при средних значениях запыленности через 2,5 мин после взрыва составила 62, а через 0,5 ч – 70%. В результате использования этого способа время проветривания карьера после массовых взрывов уменьшилось в 3 - 4 раза, что позволило сократить простой горнотранспортного оборудования и получить экономический эффект 153 тыс. руб. в год.

В условиях угольных шахт применение пены уменьшило пылевыведение из отбитого угля в 3 - 6 раз по сравнению с орошением водой. Кроме того, на 1,5 - 2% снизилась влажность добываемого угля, так как для получения пены расходуется в 1,5 - 2 раза меньше воды, а эффективность пылеподавления достигает 99% [33, 38].

В ЛенморНИИпроекте были проведены эксперименты по применению пены для обеспыливания узла перегрузка калийной соли в суда. При этом эффективность системы пылеподавления равнялась 85%, а степень увлажнения материала изменялась от 0,4 до 0,7% [21].

Пылеподавление пеной как самостоятельный способ обеспыливания целесообразно применять на технологических комплексах транспортирования сыпучего груза со средней влажностью не выше 5 - 6 %. Капитальные затраты при использовании пены незначительны, а эксплуатационные расходы определяются главным образом удельным расходом пены и стоимостью пенообразователя. Так, при использовании 3%-ного раствора пенообразователя ПО-1 стоимостью 70 руб/т и удельном расходе пены 8 - 10 л/т удельные эксплуатационные расходы составляет 5 - 6 коп/т.

Благодаря высокой эффективности и преимуществам пенного способа пылеподавления значительный научный интерес представляет рассмотрение свойств современных пенообразователей и особенностей механизмов генерации и взаимодействия пены с частицами пыли.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕНЫ

2.1. ПЕНООБРАЗОВАТЕЛИ И ПЕНЫ

Пена представляет собой двухфазную систему газ — жидкость, в которой дисперсной фазой служат ячейки — пузырьки газа, а дисперсной средой — плёнка жидкости. Различают пену динамичную (подвижную) и стабильную. Динамичная пена образуется в пенных аппаратах в результате барботажга газа через слой жидкости, льющейся по поверхности пористой перегородки — сита, тарелки (решетки) и т.д. За счет кинетической энергии проходящего газа поддерживается состояние динамического равновесия. Однако эта пена быстро разрушается после прекращения поступления газа.

Для получения стабильной пены в систему вода — воздух необходимо добавить третий компонент — пенообразователь. Стабильная пена образуется при совместном диспергировании растворов пенообразователя и воздуха через пористые системы (сетки) в пеногенераторах, которые широко применяются для пылеподавления и пожаротушения [39, 40].

Пенообразующие вещества, или пенообразователи, представляют собой водные растворы поверхностно-активных веществ, часто со специальными добавками для придания им определенных свойств.

Молекулы ПАВ имеют резко выраженную асимметричную структуру (рис. 12), содержат полярную гидрофильную группу (ОН, NH₂, COOH) и неполярные гидрофобные радикалы, состоящие из углеводородов (преимущественно парафиновой цепи — прямой или разветвленной), а также бензольного кольца, алкильной цепочки либо соединений того и другого [41].

Асимметричное строение молекул ПАВ обуславливает их ориентацию и способность адсорбироваться на границе раздела воздух - вода, образуя слой вещества толщиной в одну молекулу (мономолекулярный слой, или монослой). При этом концентрация ПАВ поверхности раздела фаз может быть очень высокой, даже если в объеме раствора содержание поверхностно-активного вещества незначительно. В этом слое гидрофобные части молекул «торчат» в воздухе, а гидрофильные «головки» погружены в жидкость (рис. 13).

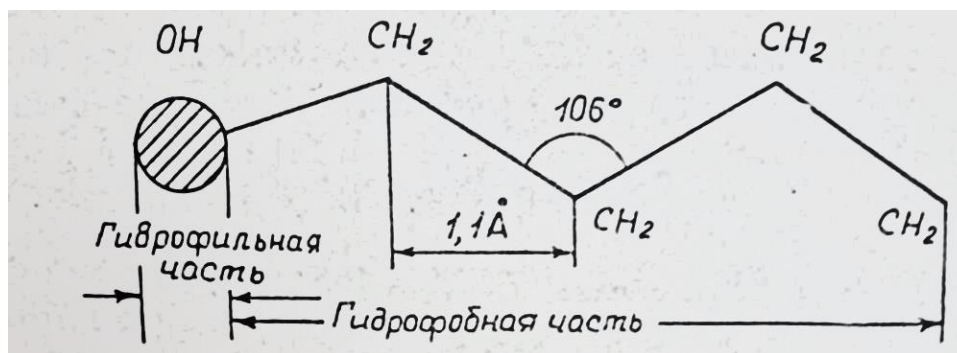


Рис. 12. Схема молекулы ПАВ

В процессе пылеподавления пеной гидрофильная часть молекулы связывается с пленкой жидкости, а гидрофобная — с поверхностью частиц пыли, что и снижает пылевыделение.

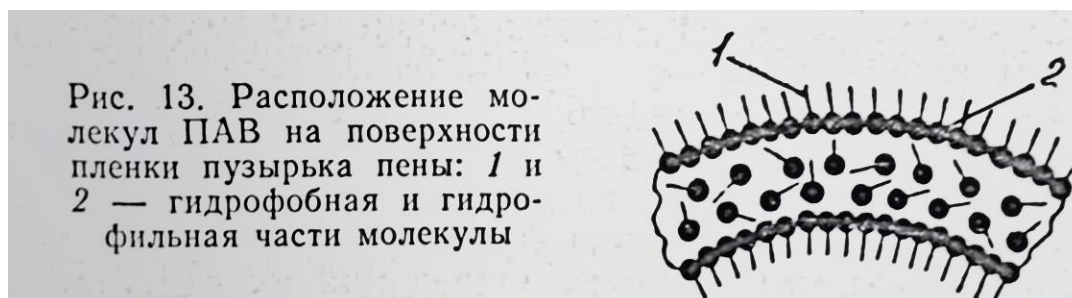


Рис. 13. Расположение молекул ПАВ на поверхности пленки пузырька пены: 1 и 2 — гидрофобная и гидрофильная части молекулы

В практике использования ПАВ чрезвычайно важно знать зависимость адсорбции и поверхностного натяжения от концентрации [42], которая выражается уравнением Гиббса:

$$A = - \frac{c}{RT} \cdot \frac{d\sigma_{ж.г}}{dc}, \quad (2.1)$$

где A — избыток концентрации ПАВ на поверхности раствора (разность между концентрацией ПАВ в поверхностном слое и в объеме жидкости); c — концентрация ПАВ в объеме жидкости; R — универсальная газовая постоянная; T — абсолютная температура.

Величина $d\sigma_{ж.г}/dc$ определяет поверхностную активность вещества. Если $d\sigma_{ж.г}/dc < 0$, адсорбция положительна, если $d\sigma_{ж.г}/dc > 0$, отрицательна.

Прочность адсорбционных слоёв можно оценить работой адгезии:

$$W_a = \sigma_{ж.г}(1 + \cos\theta), \quad (2.2)$$

Площадь, приходящаяся на одну молекулу в монослое, находится из выражения [42]:

$$S = \frac{1}{A}, \quad (2.3)$$

Максимальная поверхность, которую может стабилизировать ПАВ при данной концентрации, рассчитывается по формуле:

$$S_{\infty} = cV/A_{\text{макс}}, \quad (2.4)$$

где V - объем раствора; $A_{\text{макс}}$ — предельная адсорбция. Работа адсорбции W может быть рассчитана по формуле [43]:

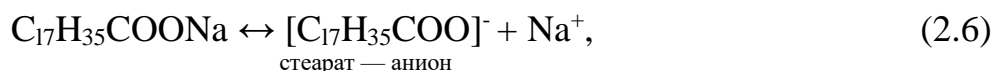
$$W = RT \cdot \ln A/\delta c, \quad (2.5)$$

где δ — толщина поверхностного слоя, м.

Адсорбционная способность ПАВ является важной характеристикой, определяющей физико-химические процессы смачивания, диспергирования и др.

ПАВ в зависимости от способности к электрической диссоциации в водных растворах подразделяются на четыре группы:

1. Анионные — ПАВ, функциональные группы которых при диссоциации образуют отрицательно заряженные ионы (носители поверхностной активности) и обуславливающий их растворимость в воде катион (положительные ионы щелочных металлов, чаще всего натрия). Так, молекулы анионного вещества — стеарата натрия — в водных растворах диссоциируют с образованием аниона — кислотного остатка:



Из большого числа анионных веществ широко применяются алкиларилсульфонаты и алкилсульфаты. Вещества этой группы, синтезированные из бензола, керосина, газойля и высших жирных спиртов, используются в качестве пенообразователей в пожарной технике.

2. Катионные — ПАВ, функциональные группы которых при диссоциации образуют положительно заряженные ионы — носители поверхностной активности — и неорганический анион (ионы хлора, брома и т.д.). Например, типичное катионное ПАВ — производное четвертичного аммониевого основания — имеет общую формулу



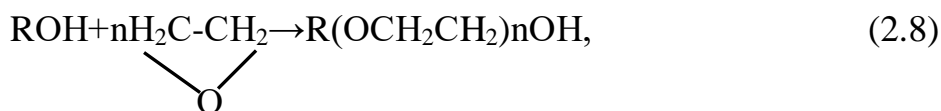
где a, b, c — короткие радикалы, а R — длинный углеводородный радикал, содержащий от 8 до 18 атомов углеводорода.

Представителями этой группы ПАВ являются амины и их производные, получаемые из жирных кислот и спиртов. В кислых средах эти соединения катионоактивны — образуют соли и четвертичные аммониевые основания; в нейтральных и щелочных — неионоактивны.

Катионные ПАВ, несмотря на высокую поверхностную активность в воде и технологических растворах, используются в качестве пенообразователей в меньшей степени. Однако они способны адсорбироваться на любых твердых поверхностях, с которыми соприкасаются, и гидрофобизировать их. Это позволяет применять катионные ПАВ как флотореагенты (частицы минералов, подлежащих отделению от пустой породы, становятся несмачиваемыми, что облегчает и ускоряет процесс обогащения).

3. Неионогенные — ПАВ, практически не образующие в водном растворе ионов. Их растворимость обусловлена наличием одной оксиэтильной группы на каждую метиленовую группу в гидрофобной части.

В отечественной практике наиболее распространены неионогенные поверхностно-активные вещества, получаемые на основе этиленоксида и продуктов переработки угля и нефти (ОП-7, ОП-10, ОП-20 и др.) по реакции



где R — углеводородный радикал от C₁₀H₂₁ до C₂₀H₄₁.

4. Амфолитные — ПАВ, которые в нейтральной среде ведут себя как неионогенные, в кислой — как анионные и в щелочной — как катионные соединения. Амфолитные ПАВ хорошо растворяются в воде и в большинстве органических растворителей. Типичными амфолитами являются белки.

Ассортимент выпускаемых в последние годы ПАВ превышает 200 наименований, причем на долю анионных приходится около 80, неионогенных — 15%. Остальные 5% распределяются между катионными (3 — 4%) и амфолитными (1 — 2%).

Растворы пенообразующих ПАВ молекулярнодисперсны вплоть до так называемой критической концентрации мицеллообразования (ККМ), когда из отдельных молекул начинают формироваться конгломераты размерами от нескольких нанометров до микрометра, называемые мицеллами. При этом растворы ПАВ представляют собой микрогетерогенную систему типа

коллоидной и возникает энергетически наиболее выгодное состояние: гидрофильные группы окружены гидрофильными, а гидрофобные — гидрофобными аналогично тому, как при адсорбции в системе жидкость — газ или жидкость — жидкость.

В работе [44] указывается, что вначале образуются сферические мицеллы Гартлея, которые с увеличением концентрации переходят в пластинчатые Мак-Бена, напоминающие по строению двухмерный кристалл.

Мицеллообразование приводит к уменьшению свободной энергии в растворах ПАВ. Кривые зависимости поверхностного натяжения растворов ПАВ от концентрации имеют минимум в точке, соответствующей ККМ, а далее точки почти параллельны оси абсцисс.

При ККМ происходит резкое изменение свойств пенообразователей: объем пены максимальный, стойкость наибольшая.

Следует учитывать, что уравнение (2.1) применимо вплоть до ККМ. Наряду с этим необходимо отметить, что ионные ПАВ имеют гораздо большие значения ККМ, чем неионогенные с углеводородными цепями той же длины за счет наличия заряда, способствующего мицеллообразованию. Для двойных смесей ККМ имеет промежуточное значение по сравнению с ККМ индивидуальных ПАВ.

Критическая концентрация мицеллообразования уменьшается с повышением температуры растворов ПАВ (табл. 16) и увеличивается при смещении ионной группы от конца углеводородной цепи к её середине, возрастании числа ионных групп, введении бензольного кольца и двойных связей, замещении водорода в углеводородных цепях.

Мицеллярная структура растворов ПАВ определяет их солюбилизирующее действие, заключающееся в том, что молекулы водонерастворимых углеводов растворяются в мицеллах ПАВ. Солюбилизация широко используется в технике.

В настоящее время ПАВ применяются примерно в 4 000 областях науки и техники. Общий экономический эффект от производства и применения ПАВ только в капиталистических странах ориентировочно оценивается в 30 млрд долларов [45].

Все выпускаемые в стране ПАВ проходят тщательную токсикологическую проверку. Оценивается как раздражающее действие на кожу, дыхательные пути, глаза человека и животных, так и отравляющее при попадании в организм человека.

Таблица 16. Физико-химические свойства водных растворов оксиэтилированных аминов

| ПАВ | Молекулярная масса | ККМ•10 ⁻⁴ , моль/л | | | Поверхностное натяжение 1%- ного раствора, мН/м | | |
|-----------------------------------|--------------------|-------------------------------|--------|-------|---|------|------|
| | | 1 | 2 | 3 | 1 | 2 | 3 |
| Оксиэтилированные амины: | | | | | | | |
| С ₁₄ - С ₁₆ | | | | | | | |
| n* = 10 | 401 | 0,947 | 0,7745 | 0,638 | 33,60 | 30,2 | 26,2 |
| n* = 15 | 643 | 0,637 | 0,5464 | 0,423 | 35,28 | 33,6 | 30,8 |
| n* = 20 | 662 | 0,649 | 0,5990 | 0,513 | 36,96 | 35,2 | 33,6 |
| Пропамин К-15 | 715 | 0,100 | 0,8902 | 0,783 | 45,84 | 42,0 | 37,8 |
| Оксамин Л-15 | 815 | 0,606 | 0,5129 | 0,434 | 36,50 | 34,2 | 32,8 |
| Синтамин ДТ-18 | 940 | 0,585 | 0,5067 | 0,436 | 38,64 | 36,9 | 33,6 |

Примечания: n* — число молей оксида этилена; 1 — 20, 2 — 35, 3 — 50°С.

Например, введением некоторых ПАВ внутрь организма были получены сравнительные данные о возможных дозах (г), вызывающих гибель животного, в расчете на 1 кг массы [44]:

| | |
|-------------------------------|------|
| Сульфол НП-3 | 2 |
| Первичные алкилсульфаты . . . | 2 |
| Сульфонат | 3 |
| Хлорный сульфол | 3 |
| Смачиватель НБ | 3 |
| ПО-3А | 3 |
| Синтанол Д-3С | 3 |
| ПО-6К | 3,25 |
| ПО-1Д | 4 |
| ПО-1 | 7 |

Наиболее токсичны сульфол НП-3 и первичные алкилсульфаты. Опыты показали, что исследованные ПАВ не обладают кумулятивным действием, т.е. не накапливаются в организме.

Установлено, что из всех групп ПАВ наиболее токсичны катионные ПАВ. При этом производные аминов и полиаминов при длительном контакте вызывают раздражение кожи.

Наименее токсичны неионогенные ПАВ, которые плохо всасываются в кожу человека и поэтому не проявляют резорбтивное действие.

Анионные ПАВ на основе жирных кислот, проникая через кожу, оказывают раздражающее действие на нервную систему. Кумулятивная способность этих ПАВ ниже, чем неионогенных (ПДК для анионных ПАВ составляет не более 0,5, а для неионогенных - до 0,1 мг/л). По санитарным нормам концентрация анионных ПАВ в атмосферном воздухе не должна превышать 0,01 мг/м³.

В целом для неионогенных ПАВ летальные дозы составляют 3 — 50, для анионных — 2 — 16, а для катионных — менее 1 г/кг массы человека. Коэффициент кумулятивности большинства ПАВ невысок и равен 5 [42, 46].

По степени биологической разлагаемости ПАВ классифицируются по следующим группам: I — биологически хорошо разлагающиеся (количество биологически разлагающегося вещества $K_{\text{разл}} = \text{более } 85\%$); II — биологически средне разлагающиеся ($K_{\text{разл}} = 70 — 85\%$); III — биологически трудно разлагающиеся ($K_{\text{разл}} = < 70\%$).

Следует отметить, что к третьей группе относится большинство катионных ПАВ, а из неионогенных и анионных веществ — рафинированный алкиларилсульфонат (препарат РАС), сульфонол НП-1, а также ОП-7, ОП-10 и др.

Особенностью ПАВ является их технологическая гибкость, заключающаяся в том, что для каждого специфического процесса можно подобрать наиболее эффективный состав пенообразователей с учетом важнейших свойств ПАВ. Так, при подавлении пеной гидрофобной пыли применяются ПАВ, имеющие хорошие пенообразующие и смачивающие свойства. Для частиц с относительной слабогидрофобизированной поверхностью высокая смачиваемость не является необходимым условием.

Поверхностно-активные вещества, применяемые для обеспыливания, должны обладать следующими свойствами: значительным уменьшением поверхностного натяжения воды при небольших концентрациях ПАВ; хорошей биологической разлагаемостью и отсутствием вредного действия на организм человека; отсутствием отрицательного влияния на технологический процесс, коррозирующего действия на металл и разрушающих свойств на резину; хорошей растворимостью в воде в широком диапазоне температур; высокой эффективностью при малой концентрации ПАВ; небольшой стоимостью, влияющей на технико-экономическую эффективность применения пены в конкретных условиях; отсутствием осадка с ионами кальция и магния, а также с другими ионами, содержащимися в воде промышленного предприятия, и т.д.

Для пылеподавления успешно применяются неионогенные (ДБ и ПО-12) и анионные (мылонафт, ПО-1) пенообразователи. Пенообразователь ПО-1 содержит очищенный керосиновый контакт (контакт Петрова), этиловый спирт и костный клей. В состав керосинового контакта входит не менее 45% сульфокислот имеющих преимущественно ароматическое или циклическое строение [47]. Керосиновый контакт впервые был получен в 1912г. Г.С. Петровым путем сульфирования нафтеновых кислот. Костный клей и этиловый спирт вводят для обеспечения высокой кратности и стойкости пены, а также снижения температуры замерзания.

Техническая характеристика ПО-1 (ГОСТ 6948-81)

| Состав | Концентрация, % |
|--|-----------------|
| Контакт Петрова | 85,5±3 |
| Клей костный (ГОСТ 2067-80) | 4,5±1 |
| Спирт этиловый синтетический (ГОСТ 11547-76) | 6,0±2 |

Основные физико-химические характеристики ПО-1

| | |
|---|---|
| Внешний вид | Жидкость от светло-желтого до темно-коричневого цвета без посторонних включений |
| Вязкость кинематическая при 20 ⁰ С не более (м ² •с ⁻¹) | 40•10 ⁻⁶ |
| Кратность пены не менее | 6 |
| Стойкость пены (с) | 270 |
| Реакция среды (рН) | 7 - 9 |
| Плотность (кг/м ³) | 1,1 |
| Температура застывания не более (°С) | - 8 |
| Минимальная температура пенообразователя при применении (°С) | - 2 |
| Осадок | Отсутствует |

Рабочие растворы ПО-1 пожаровзрывобезопасны и безвредны. В целях исследования возможности ухудшения состава воздушной среды производственных помещений при использовании ПО-1 был проведен химический анализ содержания в нем углерода, водорода, серы, а также токсичных примесей (свинца, мышьяка и др.). Химический состав ПО-1 (%): С — 14,49; S — 1,54; Н — 9,94; Рb — 0,02; Sr, As—Сl — не обн.

Пенообразователь ПО-12, разработанный совместно ВНИИПАВ и МакНИИ, представляет собой смесь алкилсульфатов и алкилсульфонатов в сочетании с добавками [33]. Состоит он из 17% первичных алкилсульфатов С₁₀ — С₁₃; 8% алкилсульфонатов натрия; 5% глицерина; 3 — 5% гексаметафосфата натрия; 65 — 67% воды.

Применение в составе пенообразователя двух видов ПАВ обеспечивает оптимальное значение пенообразующей и смачивающей способности раствора, а добавка глицерина стабилизирует свойства продукта.

Пенообразователь ПО-12 — однородная жидкость от светло-желтого до коричневого цвета с запахом технического мыла. При температуре ниже 5°С приобретает пастообразный вид, при нагревании превращается в жидкость без изменения физико-химических свойств. Реакция среды 1%-ного водного раствора составляет 8-10, температура застывания — не более 2°С. Растворимость в воде при температуре 20°С и 2%-ной концентрации полная без выделения осадка, кинематическая вязкость как у ПО-1. Выпускается промышленностью с 1982 г.

Таблица 17. Сравнительная оценка пенообразователей

| Показатели | ПО-1 | ПО-12 |
|---|--------|-------|
| Рабочая концентрация, % | 3 - 5 | 1 |
| Кратность пены | 109 | 196 |
| Время пленочной флотации пыли, с | 68 | 29 |
| Раздражающее действие на органы дыхания | Резкое | Нет |

Следует отметить, что ПО-12 является трудногорючим, малоопасным ПАВ, обладающим при длительном контакте местным раздражающим действием на кожу и слизистые оболочки. Кратность и стойкость пены, полученной на его основе, примерно в 2 раза больше, чем на основе пенообразователя ПО-1. Кроме того, расход ПО-12 снижается в 2 — 2,5 раза, а затраты на его получение и хранение в 1,5 раза меньше, чем для ПО-1 (табл. 17).

Однопроцентный водный раствор пенообразователя ПО-12 безвреден, его можно транспортировать и хранить в металлических таре.

Таким образом, пенообразователь ПО-12 по своим физико-химическим свойствам значительно превосходит ПО-1, что и предопределило его преимущественное использование в практике пылеподавления.

На угольных шахтах применяются также пенообразователи «Рокафенол-8», КБС и др. Пенообразователь КБС (производство ПНР) состоит из механической смеси керилобензеносульфониана соды (20%), мочевины (20%), сульфата натрия (5%) и воды (55%) [4].

В последние годы сотрудники ВНИИПО МВД СССР разработали ряд пенообразователей целевого и общего назначения, технические характеристики некоторых из них приведены в табл.18.

В состав пенообразователей входят до 25 синтетических ПАВ, стабилизаторы пены и ингибиторы коррозии. При неоднократном замерзании и оттаивании растворы ПАВ не теряют пенообразующих свойств. Пенообразователи биологически разлагаемы, и их рабочие растворы не обладают раздражающим и кумулятивным действием на организм человека.

Самый дешевый пенообразователь — ПО-6К (160 руб/т) — водный раствор смеси натриевых солей сульфокислот различного строения. Его получают путем нейтрализации раствором кальцинированной соды кислого гудрона, образующегося в качестве побочного продукта при сульфировании

Таблица 18. Технические характеристики пенообразователей

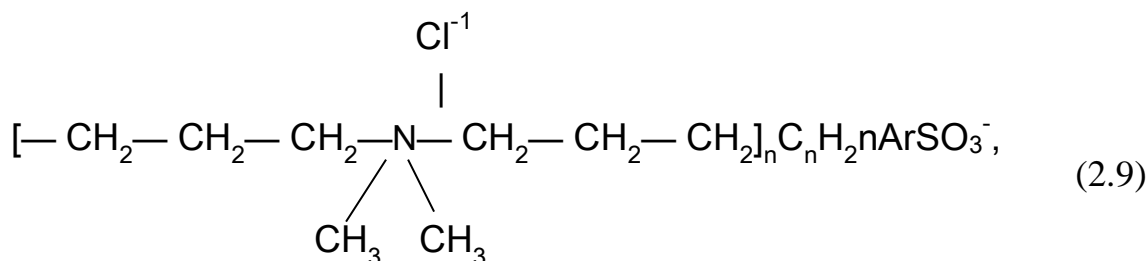
| Показатели | ПО-6К | "Морозко" | "Форэтол" | ТЭАС | ПО-ЗАИ ("Ива") |
|---|---------------------|--------------------|--------------------|---------------------|-------------------|
| Плотность, 10^{-3} кг·м ⁻³ (не менее) | 1,13 | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,3 |
| Вязкость кинематическая при 20 ⁰ С, м ² ·с ⁻¹ (не более) | $5,5 \cdot 10^{-3}$ | $10 \cdot 10^{-6}$ | $50 \cdot 10^{-6}$ | $4,0 \cdot 10^{-6}$ | $3 \cdot 10^{-3}$ |
| Реакция среды (рН) | 7,5 - 10 | 7,0 - 10 | 5,5 - 8,0 | 7,0 - 9,0 | 8 - 9 |
| Концентрация рабочего раствора для получения пены, % (об) | 6 | 6 | 10 | 4 - 6 | 3 |
| Кратность пены (не менее) | 60 | 60 | 60 | 60 | 1000 |
| Устойчивость пены, с (не менее) | 240 | 240 | 240 | 240 | - |
| Температура застывания, ⁰ С (не выше) | -6 | -35 | -5 | -8 | -2 |

Примечание. Пенообразователи — жидкости от светло-коричневого до тёмного цвета без посторонних включений.

гидроочищенных нефтяных фракций серным ангидридом с последующей специальной очисткой полученных сульфосолей. В качестве примесей ПО-6К содержит сульфат натрия и несulfированные углеводороды.

Продолжительность хранения пенообразователя ПО-6К в металлической таре при 20⁰С составляет 9 лет, его водного 6%-ного раствора в аналогичных условиях — 3,5 года. ПО-6К является негорючим и невзрывоопасным веществом.

Для подавления трудносмачиваемой свинецсодержащей пыли разработан состав пенообразующего раствора, который содержит сульфитно-спиртовую барду и воду. Дополнительно вводится сополимер полидиметилдиаллил аммоний хлорида и соли алкилароматических сульфокислот общей формулы [48]:



где $n = 8 — 12$.

Соотношение компонентов (мас. %): барда — 0,5 — 5,0; сополимер — 0,5 — 1,5; вода — остальное. Данный пенообразующий раствор — жидкость коричневого цвета со слабым запахом нефтепродуктов.

Результаты сравнительного анализа пенообразующей способности раствора предлагаемого состава и ПО-1 показали, что при соответствующей концентрации они близки друг другу (рис. 14). По эффективности пылеподавления он выше ПО-1 на 8,5%, а содержание свинца снижает на 7,8%.

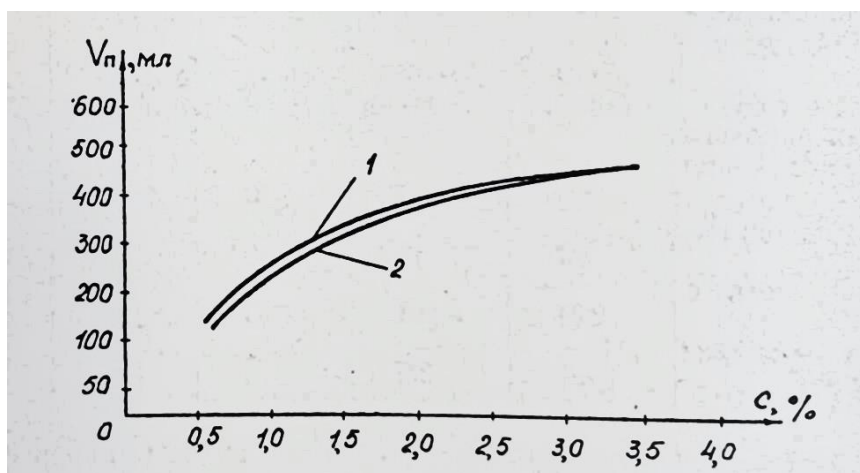


Рис. 14. Зависимость пенообразующей способности растворов ПАВ от концентрации: 1 — раствор ПО-1; 2 — разработанный раствор

Зависимость эффективности подавления свинецсодержащей пыли и свинца от компонентов раствора данного пенообразователя различного состава представлена в табл.19.

Основными свойствами пены являются кратность, дисперсность и стойкость.

Кратность пены — количество пены, образующейся из единицы объёма жидкости, определяется отношением:

$$K = \frac{V_{п}}{V_{ж}}, \quad (2.10)$$

где $V_{п}$ и $V_{ж}$ — соответственно объемы пены и раствора пенообразователя, из которого она получена.

Для образования пены необходимо ввести в жидкость 74% газа по объему, тогда кратность будет равна 3,8, т.е. только при такой кратности и выше получается пена.

Кратность пены меняется от нескольких единиц до нескольких сотен и даже тысяч. При этом пена в зависимости от кратности подразделяется на пену малой (20 — 50), средней (50 — 250) кратности и высокократную

(свыше 250). Для пылеподавления широко используется пена средней и высокой кратности.

Таблица 19. Влияние компонентов растворов предлагаемого пенообразователя на эффективность подавления частиц пыли и свинца

| Пенообразующий состав | Содержание компонентов, мас. % | | | Эффективность подавления, % | |
|-----------------------|--------------------------------|-----------|------|-----------------------------|--------|
| | сульфитно-спиртовая барда | сополимер | вода | пыли | свинца |
| 1 | 0,3 | 0,3 | 99,4 | 89,8 | 89,6 |
| 2 | 0,5 | 0,5 | 99,0 | 94,2 | 94,0 |
| 3 | 1,0 | 0,8 | 98,2 | 94,7 | 94,7 |
| 4 | 3,0 | 1,2 | 96,8 | 94,7 | 94,3 |
| 5 | 5,0 | 1,5 | 93,5 | 94,9 | 94,5 |
| 6 | 6,0 | 2,0 | 92,0 | 94,9 | 94,4 |
| 7 | 7,0 | 2,5 | 90,5 | 94,2 | 94,4 |

Кратность пены неодинакова для различных ПАВ и зависит также от концентрации пенообразователя (рис. 15) [44]. Подобное различие связано как со способом получения пены, так и со способностью молекул ПАВ с определенной скоростью диффундировать из раствора на вновь образуемую поверхность. Качественно скорость диффузии можно выразить временем достижения статических значений поверхностного натяжения. Как правило, оно минимально для анионных ПАВ и увеличивается при переходе к неионогенным соединениям и амфолитным веществам.

Необходимо отметить, что при одной и той же кратности пена может иметь различную структуру, т.е. отличаться размерами пузырьков газа и толщиной плёнки жидкости.

Структура пен определяется соотношением объемов газовой и жидкой фаз, и в зависимости от него пузырьки пены приобретают сферическую (при соотношении в 10 — 20 раз), так и многогранную (полиэдрическую) форму (при соотношении в десятки и даже сотни раз за счет избытка газовой фазы и взаимного сдавливания).

Ж. Плато сформулировал следующие геометрические правила, определяющие структуру пены [49]:

1. В каждом ребре многогранника — ячейки — сходятся три пленки, углы между которыми составляют 120° каждый. Места стыков плёнок (ребра многогранников) утолщаются и в поперечном сечении образуют треугольник. Эти утолщения, названные каналами Плато — Гиббса, представляют собой взаимосвязанную систему и пронизывают весь каркас пены.

2. В одной точке сходятся четыре канала Плато, образуя одинаковые углы в $109^{\circ}28'$.

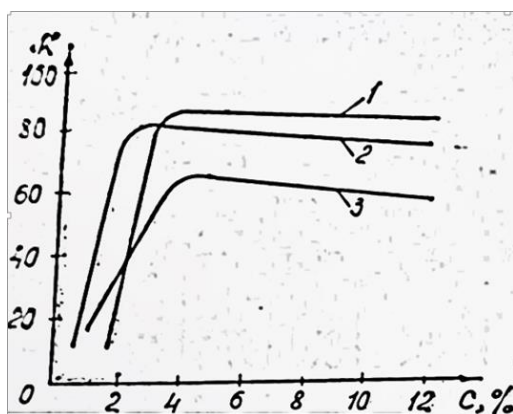


Рис. 15. Зависимость кратности пены от концентрации ПАВ (ствол ГВП-100; давление $6 \cdot 10^{-1}$ МПа): 1 — Д-3С; 2 — первичные алкилсульфаты $C_{10} — C_{13}$; 3 — ПО-1

В полиэдрической пене (преимущественно 12 — 14-гранной) основная масса пенообразователя находится в каналах Плато — Гиббса. Структура такой пены энергетически более выгодна из-за меньшей межфазной суммарной поверхности по сравнению с полидисперсной сферической пеной. Кроме того, она обладает жесткостью и механической прочностью.

Кратность и величины, характеризующие структуру пены, связаны между собой отношением [37]:

$$\delta = \frac{a_1 d_{\text{п}}}{2} \left(1 - \sqrt{\frac{K-1}{K}} \right), \quad (2.11)$$

где δ — средняя толщина плёнки пузырьков, Å ; a_1 — коэффициент, учитывающий количество жидкости, находящейся в пленках.

В табл. 20 приведены значения толщины плёнки пузырьков пены, рассчитанные по формуле (2.11) при $a_1 = 1$.

Из табл. 20 видно, что при одной и той же кратности с увеличением размеров пузырьков пены толщина образующей их плёнки возрастает, а при постоянном диаметре пузырьков с увеличением кратности уменьшается.

Как показала многолетняя практика применения существующих пеногенераторов различных конструкций и принципов действия, максимальная кратность пены около 1 000 объемных единиц достигается при диаметре пузырьков до 7 мм.

Пена является неустойчивой дисперсной системой. С момента её образования начинается самопроизвольное стекание жидкости между двумя поверхностями плёнки (синерезис), в результате чего плёнка постоянно утончается. При некоторой критической толщине плёнки (порядка 400 — 1000 Å) процесс утончения становится скачкообразным и плёнка разрушается.

Таблица 20. Расчетные значения толщины плёнки пузырьков пены, Å

| Диаметр пузырьков, 10^{-3}м | Кратность пены К | | | | | | | |
|--|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1 000 |
| 1 | 5 570 | 4 150 | 3 350 | 2 800 | 2 700 | 2 100 | 1 850 | 1 650 |
| 2 | 11 140 | 8 300 | 6 700 | 5 600 | 4 800 | 4 200 | 3 700 | 3 300 |
| 3 | 33 420 | 24 900 | 21 100 | 16 800 | 14 400 | 12 600 | 11 100 | 9 900 |

Однако пена остается достаточно устойчивой и обеспечиваются необходимые степень и продолжительность улавливания пыли, если толщина плёнки пузырьков пены равняется 2 000 Å. При этом время утончения плёнки жидкости до критической толщины составляет 2,5 — 4 мин, что соизмеримо со сроком жизни пены.

Расчетные значения кратности пены при толщине плёнки 2 000 Å и диаметре 1 мм — 833, 2 мм — 1 667, 3 мм — 2 500, 4 мм — 3 333, 5 мм — 4 166, 6 мм — 4 975 и 7 мм — 5 848.

Дисперсность пены определяет средний размер воздушных пузырьков и зависит от физико-химических свойств пенообразователя, способа смешения фаз, кратности пены, конструктивных особенностей пеногенераторов или технологических аппаратов, а также режимов ведения технологических процессов, в ходе которых образуется пена.

При генерации пены размеры пузырьков могут изменяться от сотых долей миллиметра до нескольких сантиметров. Чем меньше пузырьки, тем более дисперсна пена, при большем размере ячеек пена называется грубодисперсной (рис. 16). Из рис. 16 видно, что с увеличением времени в зависимости от кратности диаметры воздушных пузырьков постепенно растут.

Установлено, что грубодисперсная пена быстрее обезвоживается, так как межпузырьковые каналы, по которым стекает жидкость, имеют большую площадь сечения и скорость стекания жидкости по ним относительно велика [33]. Кроме того, в грубодисперсной пене из-за неравномерной толщины жидких прослоек возникают значительные капиллярные усилия, вызывающие отсасывание жидкости из тонких участков плёнки в более толстые, что также приводит к быстрому обезвоживанию пены и к её разрушению. Следовательно, для пылеподавления необходима пена высокой дисперсности.

Следует иметь в виду, что с течением времени растет полидисперсность пены, способствующая также её разрушению за счет диффузии газа из маленьких пузырьков в большие.

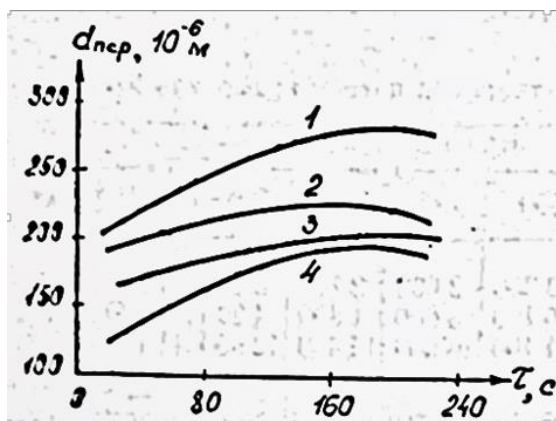


Рис. 16. Изменение среднего диаметра пузырьков пены различной кратности во времени: 1 — $K = 60$; 2 — 40; 3 — 30; 4 — 25

Уравнение, характеризующее изменение размера пузырька в результате диффузии газа через стенки ячеек, имеет следующий вид [50]:

$$d_0 - d_{\text{п}} = \frac{16RT}{P} \cdot \frac{D\sigma_{\text{ж.г}}L}{\delta} (\tau - \tau_0), \quad (2.12)$$

где d_0 — начальный диаметр пузырька в момент времени τ_0 , м; P — атмосферное давление, Па; L — растворимость газа в жидкости; D — константа диффузии.

Диффузное разрушение пены описывается уравнением

$$n_{\tau} = \frac{n_0}{(1 - k\tau)^2}, \quad (2.13)$$

где n_0 и n_{τ} — соответственно число пузырьков на единице площади поперечного сечения пены в начальный и через некоторый момент времени; k — коэффициент:

$$k = 4 RTDS\sigma_{\text{ж.г}}a/P\delta, \quad (2.14)$$

где S — суммарная межфазная поверхность, м^2 ; a — математический параметр функции распределения пузырьков по размеру.

Площадь поверхности раздела жидкость — газ в пене очень велика и составляет 2 000 — 4 000 $\text{см}^2/\text{г}$ для водных растворов ПАВ. Это свойство широко используется в технике, в частности при флотации.

Вместе с тем при взаимодействии пены с различными твердыми частицами стойкость пены повышается, что объясняют механическим упрочнением плёнок жидкости в результате их «бронирования» частицами. Это может иметь место даже в том случае, когда пылинок недостаточно для полного покрытия пузырьков. Полагают также, что твердые частицы закупоривают каналы Плато-Гиббса, уменьшая тем самым скорость истечения жидкости [49].

Стойкость, или устойчивость, пены — это способность сохранять общий её объем или определенную часть, дисперсный состав и

препятствовать синерезису. Для оценки устойчивости пены используется величина, обратная скорости истечения междупеночной жидкости и измеряющаяся секундами на кубический сантиметр [51].

Основными условиями образования устойчивой пены являются низкое поверхностное натяжение раствора, низкая упругость паров растворенного ПАВ, образование вязкой аморфно-твердой плёнки и большая гетерогенность поверхностного слоя.

Стойкость пены обусловлена рядом факторов, среди которых основными являются кинетический (действие так называемых эффектов Марангони и Гиббса), структурно-механический (образование механически прочных адсорбированных слоев) и термодинамический.

Стабилизация пен, обусловленная эффектом Гиббса, заключается в способности плёнки оперативно изменять величину поверхностного натяжения. При уменьшении объёма пены в результате сжатия отдельных пузырьков или их разрушения плёнка испытывает локальные деформации, под действием которых поверхностное натяжение повышается в растянутых участках и снижается в сжатых, тогда как плотность адсорбционного слоя молекул ПАВ изменяется наоборот. Разность натяжений различных участков поверхности плёнки вызывает перетекание жидкости из участков с большей плотностью в участки с меньшей, что и замедляет обезвоживание пленки. Действие эффекта Гиббса распространяется только на тонкие плёнки и при сантимольярных концентрациях растворов ПАВ.

Структурно-механический фактор стойкости пены можно объяснить образованием механически прочных адсорбционных слоёв за счет наличия сил взаимного сцепления отдельных молекул. Разрывы, возникающие в результате истечения междупеночной жидкости, быстро исчезают благодаря подвижности этих молекул. Важную роль в повышении стабильности пен играет вязкость междупеночной жидкости, с увеличением которой замедляется скорость её истока. Адсорбционные слои и связанные с ними сольватные оболочки обладают повышенной структурной вязкостью из-за высокой концентрации в них ПАВ.

Термодинамический фактор устойчивости обусловлен наличием расклинивающего давления, препятствующего утончению слоя жидкости под действием капиллярных сил. Так, если пены получены из ионных пенообразователей, то на обеих поверхностях плёнок возникают электрические слои и в результате их отталкивания появляется расклинивающее давление.

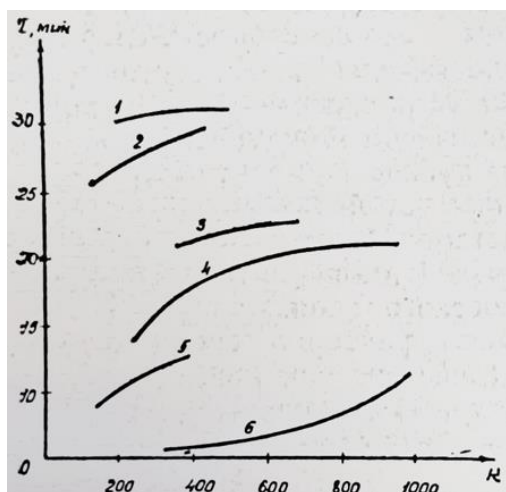


Рис. 17. Зависимость стойкости пены полученных из различных растворов ПАВ от кратности: 1 — 1%-ный раствор ПО-12; 2 — 1%-ный раствор «Сампо»; 3 — 5%-ный раствор ПО-ЗАИ ("Ива"); 4 — 3%-ный раствор «Сампо»; 5 — 3%-ный раствор ПО-1; 6 — 5%-ный раствор ТЭАС

Согласно П. А. Ребиндеру [52, 53], основным фактором стойкости пен является структурно-механический, который имеет универсальный характер при получении высокоустойчивых концентрированных систем.

Зависимость стойкости пены (мин) различных растворов пенообразователей от её кратности показана на рис. 17. При этом для пены, генерируемой из 3%-ного раствора ПО-1 стойкость составила 14 мин, 1%-ного раствора «Сампо» — 30 — 35 мин [54, 55].

В табл. 21 приведены результаты исследования характеристик пены, полученной из ПО-6К, в зависимости от концентрации раствора.

Установлено, что в условиях участка дробления КОФ-1 комбината «Ачполиметалл» оптимальной является 3%-ная концентрация раствора пенообразователя, позволяющая получать при транспортировке руды для пылеподавления пену высокой кратности (850 - 900), что увеличивает её экранирующее действие и стойкость. Дальнейшее увеличение концентрации нежелательно, так как при большей её стойкости неразрушенная пена может вызвать срабатывание блокировки и остановку конвейера.

Следует отметить, что с ростом концентрации и температуры пенообразователя устойчивость получаемой пены растет до некоторого предела, а затем уменьшается в большей или меньшей степени в зависимости от температуры раствора (табл. 22).

Стойкость пены можно повысить введением в раствор ПАВ специальных стабилизаторов. Например, добавление в раствор пенообразователя ПО-1 0,5% по весу крахмала увеличивает продолжительность существования пенного слоя в десятки раз [38]. Это обусловлено способностью стабилизаторов повышать вязкость раствора, вследствие чего скорость стекания междупеночной жидкости замедляется.

Таблица 21. Влияние концентрации пенообразующего раствора ПО-6К на характеристики пены

| Концентрация раствора, % | Расход раствора, мл | Объем генерируемой пены, дм ³ | Кратность пены | Производительность пеногенератора, дм ³ /с | Стойкость пены, мин |
|--------------------------|---------------------|--|----------------|---|---------------------|
| 2 | 20 | 13,1 | 655 | 0,28 | 4,5 |
| 3 | 20 | 17,3 | 870 | 0,44 | 4,9 |
| 4 | 20 | 18,3 | 910 | 0,66 | 5,7 |

К тому же, являясь высокомолекулярными соединениями, они могут застудневать в объеме междупузырьковых пленок.

Таблица 22. Зависимость устойчивости пен (с/см³) от концентрации и температуры раствора

| Температура, °С | Концентрация, ПО-1, % | | | | | |
|-----------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,8 | 1 | 1,5 |
| 20 | 0,4 | 1,9 | 2,3 | 2,8 | 3,0 | 3,0 |
| 60 | — | 0,6 | 1,1 | 1,9 | 2,2 | 2,1 |
| 80 | — | 0,8 | 1,4 | 1,6 | 2,4 | 2,1 |

Стабилизаторы пен делятся на следующие группы [34, 44]: повышающие вязкость раствора пенообразователя, благодаря чему уменьшается скорость синерезиса пены (глицерин, этиленгликоль, метилцеллюлоза, карбоксиметилловый спирт); уменьшающие поверхностное натяжение плёнок жидкости (высшие жирные спирты); образующие в растворе пенообразователя структуры, элементы которой переходят в плёнки пен, препятствуя их обезвоживанию (агар-агар, клей, желатин, крахмал); улучшающие стойкость пены на определенной границе раздела фаз (поливиниловый спирт) и др.

Применение стабилизаторов позволяет значительно увеличить эффективность пылеулавливания и уменьшить расход пенообразователя. Так, при пылеподавлении пеной без стабилизирующих добавок в местах перегрузки угля эффективность составила 83 — 88%, а с добавками — 98 — 99 % [34].

Экспериментальными исследованиями установлено, что добавка 0,5% полиакриламида (ПАА) к 5%-ному раствору пенообразователя ТЭАС повышает стойкость пены при кратности 660 — 800 в 2,5 раза. Степень её разрушения снижается на 15%.

Добавка 0,5% ПАА к 1%-ному раствору «Сампо» повысила стойкость пены в 1,4 раза, а степень разрушения осталась практически без изменения.

В настоящее время ПАА широко выпускается промышленностью, он обладает низкой токсичностью.

Необходимо отметить также, что наибольший эффект дает введение этой добавки в растворы, отличающиеся невысокой кратностью пены. Так, 1%-ная добавка ПАА в 3%-ный раствор ПО-ЗАИ («Ива») повышает

стойкость пены в 2 раза. При этом разрушающаяся способность пены снизилась на 20%. Однако стойкость пены, получаемой из растворов ПО-1, ПО-ЗАИ («Ива»), ТЭАС ниже по сравнению с пеной из растворов «Сампо» и ПО-12.

Добавка желатина и крахмала к указанным растворам пенообразователей практически не влияет на стойкость получаемых пен.

Другими важными свойствами пены являются вязкость, тепло- и электропроводность и др.

Согласно работе [49], коэффициент теплопроводности пен кратностью более 100 очень близок к коэффициенту теплопроводности воздуха, равному $2,38 \cdot 10^{-2}$ Вт/(м•К).

Электропроводность пен пропорциональна количеству жидкости и может быть определена из выражения Манегольда [56]:

$$\frac{\chi_{ж}}{\chi_{п}} = \frac{3}{2} K, \quad (2.15)$$

где $\chi_{ж}$ и $\chi_{п}$ — удельная электропроводность внутрипленочной жидкости и пены соответственно.

Следует иметь в виду, что уравнение (2.15) используется для определения кратности пен по электропроводности. При исследовании пен кратностью 80 — 900 из растворов ПАВ (в том числе со стабилизирующими добавками и электролитом) установлено, что числовой коэффициент уравнения практически не зависит от вида ПАВ и его концентрации. Величина этого коэффициента находится в пределах 2,56 — 2,85.

Синерезис пены приводит к увеличению её электрического сопротивления со временем. Например, при сопротивлении жидкой фазы $28 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$ (температура раствора — 18°C) за время 0 с электрическое сопротивление равно $300 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$ за 10 с — 310, за 30 с — 360, за 60 с — 430 и за 90 с — $500 \text{ Ом} \cdot \text{см}^{-1}$ [51].

Удельное сопротивление пены увеличивается также и с возрастанием кратности. Так, при кратности пены 300, 400 и 600 величина электрического сопротивления соответственно равнялась 93, 142 и $180 \text{ кОм} \cdot \text{см}^{-1}$.

Важной механической характеристикой пены, позволяющей определять её реологические свойства (растекаемость пенной массы по поверхности, способность к свободному истечению из отверстий и т.д.), является вязкость. Она зависит от времени образования пены, наличия различных добавок, температуры и других факторов. Вязкость пены снижается при добавлении к раствору пенообразователя хлорида натрия. Аналогично влияет и повышение температуры.

В процессе старения пены вязкость вначале увеличивается, а затем в зависимости от типа пенообразователя либо понижается, либо остается неизменной. Это связано с уменьшением толщины пленок, прочность которых выше, чем относительно толстых.

Все свойства пены связаны между собой и взаимозависимы. Разумно изменяя их, усиливая одни и ослабляя другие химическим, механическим, физическим и электрофизическим путем, можно получить такие свойства пены, которые будут максимально соответствовать задаче эффективного пылеподавления.

2.2. ГЕНЕРАЦИЯ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕНЫ

Процесс пенообразования зависит от способа получения пены, физико-химических свойств раствора пенообразователя, геометрических параметров устройств для получения пены и характеристик самого процесса генерации пены.

Особенности процесса образования пены можно отразить двумя критериями, первый из которых устанавливает зависимость стойкости пены от динамики процесса [34]:

$$D_1 = \frac{\tau_d}{\tau_{ст}}, \quad (2.16)$$

где τ_d и $\tau_{ст}$ — динамическая и статическая стойкость пены, с.

Второй учитывает физико-химические свойства пены и пенообразователей:

$$D_2 = K \cdot \tau_{ст}, \quad (2.17)$$

Одним из основных способов получения пены, применяемой для пылеподавления, является продавливание воздухом раствора пенообразователя, набрызгиваемого на сетку. При этом капли раствора по всей поверхности сетки вытягиваются в пленку, которая затем в каждой ячейке сетки потоком воздуха надувается в пузырьки пены. В дальнейшем процесс повторяется многократно происходит непрерывный выход пузырьков пены.

При генерации пены непрерывно увеличивается поверхность раздела воздух — жидкость, а вместе с ней и поверхностная энергия пузырьков. Полная поверхностная энергия пузырька может быть определена по формуле [57]:

$$W = 2\pi d_p \sigma_{ж.г} (d_p - 2\delta) = 2\pi d_p \sigma_{ж.г}, \quad (2.18)$$

с учетом того, что $d_p \gg \delta$.

Кинетическая энергия потока воздуха, заполняющего пузырёк пены, равна:

$$W_k = \frac{1}{12} \pi d_p^3 \rho_v v_B^2, \quad (2.19)$$

где v_b — скорость набегающего на сетку потока воздуха, м/с.

Эта энергия расходуется на совершение работы по образованию пузырька пены:

$$A = \pi d_{\text{п}}^2 \sigma_{\text{ж.г}} + \xi \frac{\rho_{\text{п}} v_{\text{п}}^2}{48} \pi d_{\text{п}}^3, \quad (2.20)$$

где $\rho_{\text{п}}$ — плотность пены, кг/м³; $v_{\text{п}}$ — скорость продвижения пенного пузырька, м/с; ξ — коэффициент сопротивления.

Тогда из условия $A = W_{\text{к}}$ следует

$$\frac{48\sigma_{\text{ж.г}}}{d_{\text{п}}} + \xi \rho_{\text{п}} v_{\text{п}}^2 = 3\rho_{\text{п}} v_{\text{в}}^2, \quad (2.21)$$

В уравнении (2.21) левая часть представляет собой напор пузырька пены при прохождении ячейки сетки и избыточное давление, а правая — напор потока воздуха перед сеткой.

В случае, когда размер пузырька определяется размером ячейки сетки, это уравнение позволяет найти скорость выхода пузырька пены и давление потока воздуха перед сеткой при заданных размерах ячейки и скорости набегающего потока.

Необходимо отметить, что генерация пены на сетках возможна лишь при определенном интервале скоростей воздушного потока, минимальная величина которых определяется по формуле

$$v_{\text{в.мин}} = \sqrt{\frac{8\sigma_{\text{ж.г}}}{b\rho_{\text{г}}}} \quad (2.22)$$

где b — размер ячейки сетки, м.

Минимальные значения скорости и напора воздуха перед сеткой при генерации пены из растворов пенообразователя ПО-1 при концентрациях, превышающих 2%, в зависимости от размера ячейки сетки могут составлять [47]:

| | | | | |
|--|------|------|------|------|
| Размер ячейки сетки (10 ⁻³ м) | 0,35 | 0,7 | 0,9 | 1,7 |
| Минимальная скорость (м/с) | 23,4 | 16,6 | 14,8 | 10,6 |
| Минимальный напор (Па) | 370 | 180 | 140 | 75 |

Процесс пенообразования с увеличением скорости воздуха протекает нормально до определенной её величины, выше которой поток пены разрывается и пена генерируется отдельными хлопьями, т.е. наблюдается так называемый «срыв» процесса образования пены. Это явление связано с тем, что при больших скоростях подачи воздуха резко возрастает скорость формирования межфазной поверхности жидкость — воздух и происходит обеднение поверхностного слоя молекулами ПАВ, стабилизирующими

пузырьки пены. При этом образующийся пузырек мгновенно лопается и часть воздуха выходит вместе с пеной в виде «каверн», которые затем отделяются от пены.

Численно это явление может быть выражено коэффициентом использования нагнетаемого потока воздуха, который определяется по формуле [58]:

$$B_{\text{исп}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{в}}}, \quad (2.23)$$

где $B_{\text{исп}}$ — коэффициент использования воздуха; $V_{\text{в}}$ — объем затраченного воздуха, м^3 .

На рис. 18 приведены зависимости $B_{\text{исп}}$ и K от расхода воздуха. Расход жидкости равен 3,5 мл/мин. Увеличение расхода воздуха ведет к росту кратности пены и одновременно к уменьшению коэффициента использования воздуха.

Из рис. 19 видно, что из 6%-ного раствора ПАВ образуется пена с максимальной кратностью 700, тогда как из 3%-ного — всего 350.

Максимальная скорость воздуха, при которой прекращается генерация пены, зависит от концентрации пенообразователя и его свойств, а также от размера ячеек сетки (рис. 19).

Оптимальная скорость воздуха примерно в четыре раза меньше максимальной и может быть вычислена по приближенной формуле [47]:

$$v_{\text{опт}} = 0,125 \frac{R_0}{\pi b}, \quad (2.24)$$

где R_0 — коэффициент, характеризующий вязкость раствора пенообразователя (для 3%-ного раствора ПО-1 $R_0 = 0,045 \text{ м}^2/\text{с}$).

Размер ячеек в сетке принимают равным 0,6 — 2 мм.

Формула (2.22) дает выражение для скорости воздуха, отнесенной ко всей площади сетки. Эта величина определяет максимальную производительность пеногенератора по пене.

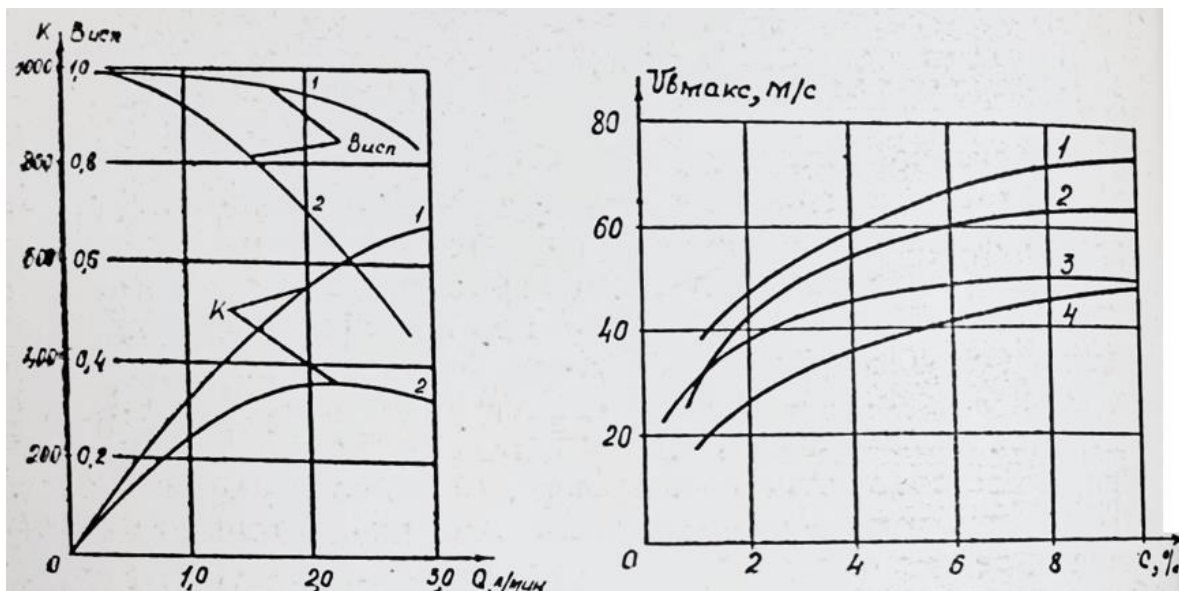


Рис. 18. Зависимость коэффициента использования $V_{исп}$ и кратности K от расхода воздуха при различной концентрации раствора пенообразователя: 1 и 2 — 6%-ный и 3%-ный раствор ПАВ соответственно

Рис. 19. Зависимость максимальной скорости набегающего потока воздуха от концентрации раствора пенообразователя ПО-1. Размер ячейки сетки: 1 — 0,35; 2 — 0,7; 3 — 0,9; 4 — 1,5 мм

Согласно работе [57], наилучшим условием для генерации пены является равенство размеров капель раствора пенообразователя и ячеек сетки, т.е. $d_k = b$. Тогда диаметр пузырька определяется формуле

$$d_{п} = d_k \sqrt[3]{\frac{v_{опт}}{v_k}}, \quad (2.25)$$

где v_k — скорость капель раствора пенообразователя, $м/с$.

Для пеногенератора ГВП-600 при производительности $0,6 \text{ м}^3$ пены в секунду, расходе $0,006 \text{ м}^3/с$ 4%-ного раствора ПО-1 и размерах ячейки сетки $0,8 \times 0,8 \text{ мм}$ диаметр пузырька пены, рассчитанный по формуле (2.23), равен $0,56 \text{ мм}$.

В настоящее время разработано большое количество устройств для получения пены. По способам генерации пены все эти устройства делятся на две группы: воздушно-пенные стволы и пеногенераторы. В стволах раствор пенообразователя, подаваемый под некоторым давлением, вытекает из отверстий, оси которых расположены под углом друг к другу и пересекаются в некоторой точке — фокусе. В области фокуса струи сталкиваются, дробятся и перемешиваются, захватывая воздух, поступающий через отверстия в корпусе ствола (рис. 20).

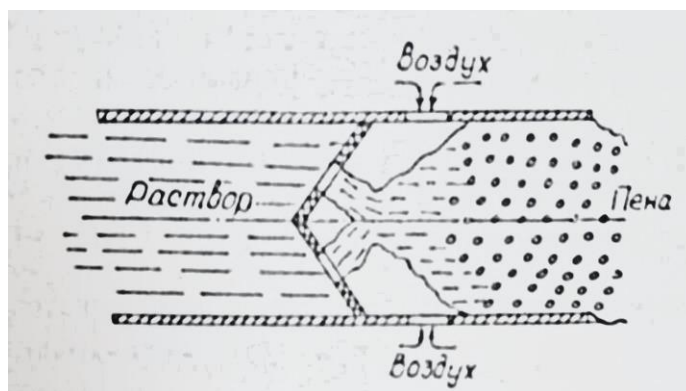


Рис. 20. Воздушно-пенный ствол, работающий по принципу соударения струй

Недостатком стволов является большой расход пенообразователя, неоднородность и низкая кратность пены.

Наиболее распространены пеногенераторы, конструкция которых обычно включает корпус с установленным в нем пакетом сеток, устройством для нагнетания воздуха и распылителем (рис. 21).

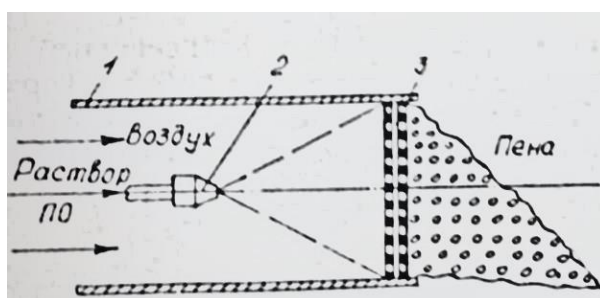


Рис.21. Схема пеногенератора: 1 — корпус; 2 — распылитель; 3 — пакет сеток

По виду нагнетателей воздуха на пакет сеток пеногенераторы делятся на три типа [33, 59]:

1. Пеногенераторы вентиляторного типа, отличающиеся друг от друга мощностью и приводом вентилятора, материалом и конфигурацией сеточного пакета, количеством и конструкцией распылителей. Производительность таких пеногенераторов может достигать нескольких десятков кубических метров пены в минуту, а кратность пены – 100 — 1000. Эти пеногенераторы значительных размеров и используют их в основном в стационарных установках. Воздух к сетке, например в пеногенераторах ПГВ-В, подводит по трубопроводу [4].

2. Пеногенераторы с использованием газа под давлением, в которых в качестве источника воздуха применяется компрессор, баллонная установка или энергия турбореактивных двигателей.

3. Пеногенераторы эжекционного типа, в которых воздух эжектируется из окружающего пространства непосредственно диспергируемой струей раствора пенообразователя. Такие пеногенераторы просты по конструкции, небольших размеров и позволяют получать пену высокой кратности.

Всесоюзный научно-исследовательский институт противопожарной обороны (ВНИИПО МВД СССР) разработал различные варианты пеногенераторов эжекционного типа ГВП [47].

Тактико-технические характеристики пеногенераторов

| | ГВП-100 | -200 | -600 | -1 000 | -2 000 |
|---|---------|--------|--------|--------|--------|
| Расход раствора пенообразователя, л/с | 1 | 2 | 6 | 10 | 20 |
| Производительность по пене, м ³ /мин | 100 | 200 | 600 | 1 000 | 2 000 |
| Дальность струи пены, м | 8 - 10 | 8 - 10 | 8 - 10 | 6 - 8 | 6 - 8 |
| Длина, мм | 405 | 510 | 720 | 1 070 | 1 580 |
| Диаметр сопла, мм | 118 | 178 | 320 | 400 | 380 |
| Масса, кг | 1,8 | 2,4 | 5 | 12 | 25 |

Сотрудниками Государственного Макеевского научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ) сконструированы малогабаритные эжекционные пеногенераторы для пылеподавления с сеточными пакетами конусной, плоской и сферической форм (рис. 22) [33].

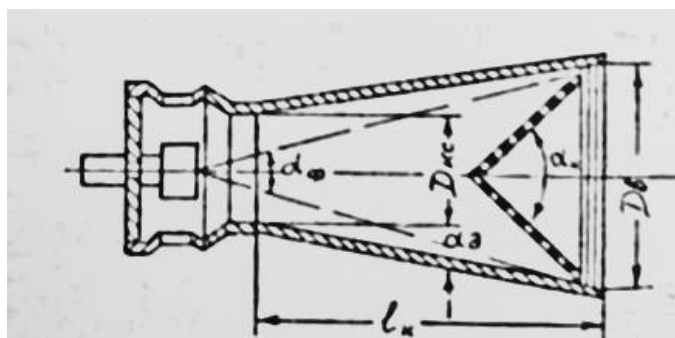


Рис. 22. Схема эжекционного пеногенератора

Диаметр камеры смешения $D_{к.с}$ может быть рассчитан по формуле

$$D_{к.с} = D_в - 2l_k \operatorname{tg} \alpha_d, \quad (2.26)$$

где $D_в$ — диаметр выходной части диффузора, м; l_k — длина конусной части корпуса пеногенератора, м; α_d — угол между осью пеногенератора и образующей внутренней поверхностью диффузора, град (принимается равным 6 - 10°).

Производительность пеногенератора по пене (м³/с) определяется по формуле

$$\Pi_r = 1,65 D_в^2, \quad (2.27)$$

Расход раствора пенообразователя ($\text{м}^3/\text{с}$):

$$Q_p = 5.23 \cdot 10^{-5} a_{\phi} \sqrt{P_{\phi}}, \quad (2.28)$$

где a_{ϕ} — коэффициент расхода форсунки; P_{ϕ} — давление раствора пенообразователя у форсунки, МПа.

Коэффициент расхода форсунки может быть рассчитан по формуле

$$a_{\phi} = 5 \cdot 10^{-5} d_{\phi}^2, \quad (2.29)$$

где d_{ϕ} — диаметр сопла форсунки, м.

Кратность пены определяется по формуле

$$K = \frac{P_r}{Q_p}, \quad (2.30)$$

Необходимое количество пены для подавления пыли в узлах перегрузки конвейерных линий может быть найдено из выражения

$$Q_{\text{п}} = 0,85 S v_{\text{л}} \sqrt{C q_{\text{п}}}, \quad (2.31)$$

где S — площадь источника пылеобразования, м^2 ; $v_{\text{л}}$ — скорость движения ленты, $\text{м}/\text{с}$; C — запыленность воздуха у источника пылеобразования, $\text{мг}/\text{м}^3$; $q_{\text{п}}$ — удельный расход пенообразователя на единицу поверхности пыли, $\text{мл}/\text{г}$.

В пеногенераторах, а также в мокрых пылеуловителях для диспергирования воды и водных растворов чаще применяются центробежные форсунки из-за сравнительной простоты изготовления и надежности в работе. К тому же большим достоинством их является возможность регулирования расхода жидкости и угла распыла. В центробежной форсунке жидкость, подаваемая под давлением, закручивается в каналах или специальной вихревой камере откуда выбрасывается через суженное сопло в виде распыленного факела при сравнительно низких давлениях.

В пеногенераторе (рис.23.) в целях повышения производительности, а также упрощения конструкции распылитель выполнен в виде трубчатого кольца со щелью, расположенной в плоскости перпендикулярной к оси пакета сеток.

При использовании пеногенератора раствор ПАВ подводится по трубчатому кольцу к торцевой поверхности пенообразующего пакета сеток и равномерно распределяется по их ячейкам за счет совместного действия массового и капиллярного потенциалов. В корпус подается поток воздуха, необходимый для выдувания из ячеек сеток пузырьков пены. Комбинированное использование массовых и капиллярных сил обеспечивает

создание как равномерного, так и устойчивого распределения плёнки пенообразующего раствора по всей поверхности сеток [60].

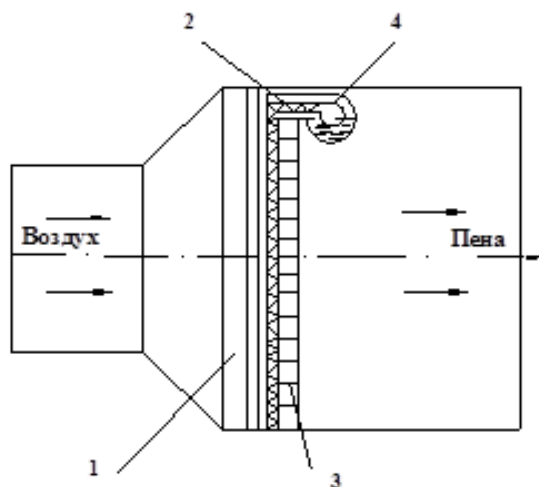


Рис. 23. Схема пеногенератора: 1 — корпус; 2 — трубоччатое кольцо; 3 — пакет сеток; 4 — распылитель

Исследования по применению пены для пылеподавления, проведенные ВЦНИИОТ, МакНИИ, ИГТМ АН УССР, Карагандинским и Пермским политехническими институтами, Гипроуглемашем, дали возможность определить для конкретных технологических условий рациональную концентрацию пенообразующего раствора, требуемые характеристики пены, а также рассчитать необходимое число пеногенераторных установок.

Следует отметить, что при образовании пены важное значение имеют добавки для понижения температуры замерзания пенообразователя. Наиболее распространенные антифризные добавки представлены в табл. 23 [61].

При использовании той или иной добавки необходимо иметь в виду не только максимальную температуру замерзания рабочего раствора, но и совместимость пенообразователя с рекомендуемой добавкой, так как некоторые из них при введении антифриза могут ухудшать процесс пенообразования. Кроме того, не менее важно, чтобы вводимая добавка не только снижала температуру, но и улучшала пылеулавливающие и пылесвязывающие свойства пены.

Таблица 23. Антифризные добавки к ПАВ

| Добавка | Концентрация в растворе, % | Температура замерзания, °С | Внешний вид жидкости | Стоимость, руб/т |
|------------------|----------------------------|----------------------------|---|------------------|
| Этиленгликоль | 40 - 50 | 50 | Светлая, без запаха | 300 - 400 |
| Триэтиленгликоль | 40 - 45 | 55 | Желтоватая, густая, хорошо растворимая | 400 - 600 |
| Полигликоль | 25 - 30 | 20 - 25 | Коричневая, хорошо растворимая, вязкая, с запахом | 20 - 50 |
| Соль | 30 - 35 | 30 - 35 | Кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде | 100 - 150 |
| То же | 20 | 16 - 17 | То же | 30 - 40 |

Примечание. Совместимость всех добавок с ПАВ хорошая.

2.3 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ЧАСТИЦ ПЫЛИ С ПУЗЫРЬКАМИ ПЕНЫ

При подаче пены в места пылеобразования, она, растекаясь по пылящей поверхности и смачивая частицы пыли, разрушается.

Разрушающая способность пены, получаемой из растворов ПО-6К, для шалкиинской руды: при 2%-ной концентрации раствора — 41,5%, при 3%-ной — 32,6 и при 4%-ной — 24,5; для жайремской руды: при 2%-ной — 42,5, при 3%-ной — 37,3 и при 4%-ной — 27,0%.

Как видно, разрушающая способность рудничных пылей уменьшается с повышением концентрации растворов пенообразователя.

Для проведения исследований использовалась пыль дисперсностью не более 5 мкм. При этом для получения сравнимых результатов была подобрана навеска пыли (500 мг), которая равномерно рассеивалась по поверхности пены. Кратность пены изменялась от 625 (2%-ный раствор) до 970 (4%-ный).

Опыт пылеподавления пеной показал, что расход пены на смачивание пыли (см³/г) увеличивается с уменьшением размеров частиц, так как увеличивается площадь поверхности, адсорбирующей молекулы ПАВ (табл. 24). При контакте такой поверхности с пенными пузырьками число молекул ПАВ, адсорбирующихся на ней, значительно больше, чем при взаимодействии с грубодисперсной пылью, имеющей меньшую площадь поверхности. В связи с этим концентрация ПАВ в жидких пленках пузырьков пены уменьшается, что снижает стойкость пены и приводит к её разрушению. Кроме того, для смачивания тонкодисперсной пыли требуется большее количество жидкости, поэтому пузырьки пены, соприкасающиеся с пылью, быстро обезвоживаются в результате перетекания воды на пылинки, а плёнки утончаются, что вызывает их разрыв [33].

Таблица 24. Расход пены ($K = 100$) для смачивания частиц пыли различных размеров

| Размер пылевых частиц, мкм | Удельная площадь поверхности пылевых частиц, м ² /кг | Навеска пыли, г | |
|----------------------------|---|-----------------|-----|
| | | 0,1 | 1,0 |
| 0 - 63 | 160 | 1 400 | 420 |
| 63 - 160 | 32 | 400 | 120 |
| 160 - 310 | 15 | 200 | 50 |
| 310 - 600 | 8 | 100 | 20 |

Количество разрушенной пены зависит от физико-химических свойств контактирующих фаз, характеристик пены, интенсивности пылеобразования и других факторов.

При увеличении высоты слоя пены и постоянном объеме пены будет быстрее изменяться кратность и толщина плёнки пузырьков, увеличится скорость разрушения пены.

Минимальную высоту слоя пены (путь торможения пылинки в слое пенных пузырьков) можно определить, рассматривая удар частицы о поверхность пены как быстрое погружение в жидкость летящего тела, по формуле [33]:

$$H_{\text{мин}} = \frac{d_{\text{ч}} \rho_{\text{ч}}}{8 \rho_{\text{ж}}} Re^{0.6} \sqrt[3]{K - 1}, \quad (2.32)$$

где Re — число Рейнольдса.

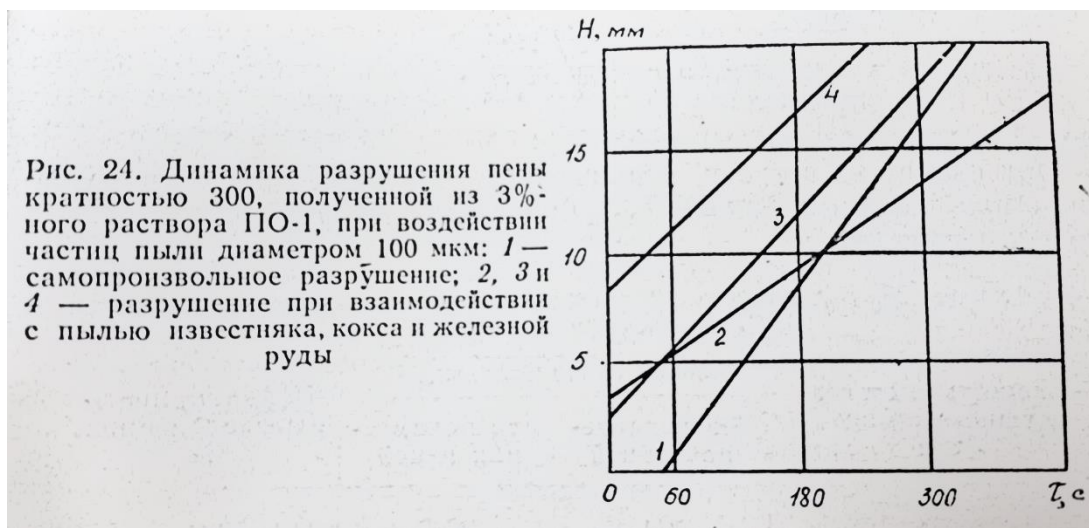
Как следует из формулы (2.32), на высоту пенного слоя главным образом влияют дисперсность и плотность частиц. Кроме того, по мере увеличения кратности пены высота слоя пены также увеличивается.

Динамика разрушения пены показывает, что пыль, имеющая наибольшую плотность, в первый момент взаимодействия разрушает пену в большей степени (рис. 24). Плотность пылей в зависимости от их дисперсности приведена ниже:

| | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|
| Параметры пыли | Железорудная | Коксовая | Известняковая |
| Размер частиц (мкм) | 100 - 160 | 100 - 160 | 100 - 160 |
| Плотность (кг/м ³) | 4 600 – 4 300 | 2 000 – 1 950 | 2 630 – 1 900 |

Увеличение площади пены при постоянном объеме снижает скорость её разрушения.

Уменьшение диаметра пузырьков при постоянной кратности повышает устойчивость пены.



С ростом интенсивности адсорбции молекул пенообразователя на поверхности частиц пыли возрастает количество разрушенной пены и уловленной пыли.

При высокой скорости поступления пыли разрушение пены будет происходить в основном под действием физико-химических факторов (процессов смачивания и адсорбции).

Процесс взаимодействия пены с пылью проходит несколько стадий: столкновение движущихся частиц с пленкой пузырька и проникновение в неё, закрепление в межпузырьковом пространстве и т.д.

При проникновении пылинки в отдельный пузырек происходит её адгезионный захват, который приводит затем к разрушению пузырька. Работа адгезии ($\text{Дж}/\text{м}^2$) равна [36]:

$$W_a = \sigma_{ж.г}(1 + \cos\theta), \quad (2.33)$$

Поэтому контакт пылинок должен закончиться на поверхности пузырьков без их разрушения, т.е. кинетическая энергия частиц должна находиться в пределах

$$W_3 \geq W_k \geq W_a, \quad (2.34)$$

При этом граничные значения скоростей встречи пылинки и пузырька можно рассчитать по формулам

$$u_{\text{макс}} = \sqrt{\frac{12W_3}{\rho_n d_n}}, \quad (2.35)$$

и

$$u_{\text{макс}} = \sqrt{\frac{12W_a}{\rho_r d_n}}, \quad (2.36)$$

где ρ_n — плотность пены, $\text{кг}/\text{м}^3$.

При скоростях встречи, меньших $u_{\text{мин}}$, пылинки обтекают пузырек, а при скоростях больше $u_{\text{макс}}$ происходит механический разрыв плёнки пузырька.

Таблица 25. Зависимость эффективности пылеподавления от скорости пылевоздушного потока

| Скорость пылевоздушного потока, м/с | Концентрация пыли, мг/м ³ | | Эффективность пылеподавления, % |
|-------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| | без подавления пеной | при подавлении пеной | |
| 1 | 311,1 | 22,0 | 92,9 |
| | 555,5 | 22,2 | 96,0 |
| 2 | 400 | 44,0 | 89,0 |
| | 422 | 44,4 | 89,4 |
| 3 | 489 | 111 | 77,27 |
| | 507 | 104 | 79,4 |
| 4 | 222 | 89 | 60,0 |
| | 1 409 | 416 | 70,5 |

В процессе пылеподавления слоем пены с минимально возможной высотой $H_{\text{мин}}$ максимальную скорость встречи можно вычислить по формуле

$$u_{\text{макс}} = \frac{2}{d_{\text{п}}} \sqrt{\frac{-6H_{\text{мин}} \sigma_{\text{ж.г}} \cos \theta}{\rho_{\text{п}}}}, \quad (2.37)$$

Анализ формулы (2.37) показывает, что в процессе пылеподавления пеной определяющим фактором является адгезионное взаимодействие.

Максимальная скорость пылевого потока ограничивается дисперсностью пены. С увеличением скорости эффективность пылеподавления уменьшается, так как повышается степень разрушения пены (табл. 25).

В табл. 26 приведены данные по эффективности пылеподавления пеной в зависимости от рабочей концентрации пенообразователя.

Таким образом, взаимодействие частиц пыли с пузырьками пены носит адгезионный характер. Эффективность пылеподавления возрастает с уменьшением скорости пылевых частиц и увеличением концентрации раствора пенообразователя. Расход пены на смачивание пыли растет с уменьшением размеров частиц.

При изучении взаимодействия пыли с пеной путем фотографирования было установлено, что пылинки распределяются в утолщениях плёнок пены и частично втягиваются внутрь пены примерно на высоту 1 — 3 пузырьков [49].

Эффект всасывания частиц внутрь пены может быть обусловлен капиллярными силами, возникающими при разрушении пузырьков пены; перетеканием жидкости из плоских участков в треугольные каналы Плато — Гиббса, а также изменением дисперсности пузырьков вследствие диффузии газа и

Таблица 26. Зависимость эффективности пылеподавления пеной от концентрации раствора ПО-6К

| Концентрация пыли, мг/м ³ | | Эффективность пылеподавления, % |
|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| без подавления пеной | при подавлении пеной | |
| Концентрация раствора 2,0% | | |
| 955,6 | 133 | 86,05 |
| 711 | 100 | 85,94 |
| 489 | 617 | 86,36 |
| Концентрация раствора 4,0% | | |
| 1 300 | 133 | 89,74 |
| 1 089 | 89 | 91,84 |
| 733 | 67 | 90,91 |

разрыва отдельных пленок.

При растекании пены до пылящей поверхности и её разрушении капиллярные силы значительно превышают силы тяжести частиц и силу адгезии их к поверхности, в результате чего пылинки отрываются от последней.

Следует отметить, что втягивание частиц пыли в пену усиливается при деформации пены за счет выталкивания частиц из нижних слоёв пены, содержащих большое число частиц, в верхние и уменьшения размеров частиц (рис. 25).

При использовании пены для пылеподавления установлено недостаточное улавливание пыли тонких фракций, что весьма важно в профилактике пневмокониозов (табл. 27).

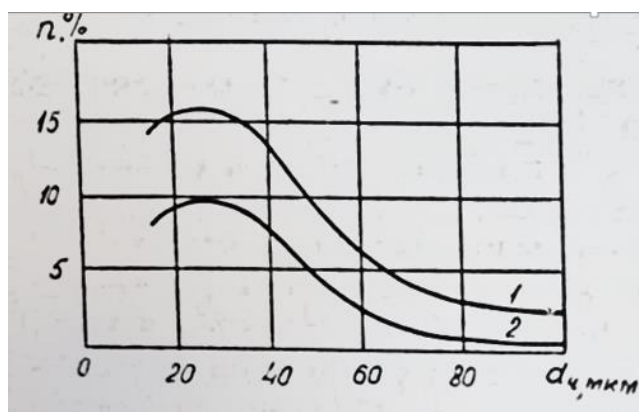


Рис. 25. Зависимость количества пыли, перешедшей в пену на глубину 250 мкм, от среднего диаметра частиц пыли: 1 — втягивание частиц при деформировании пены и 2 — с запыленной поверхности

Таблица 27. Эффективность подавления пеной пыли различной дисперсности

| Размер частиц пыли, мкм | Концентрация пыли, мг/м ³ | | Эффективность пылеподавления, % |
|-------------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------------|
| | без подавления пеной | при подавлении пеной | |
| Менее 5 | 88 | 16 | 82 |
| 5 — 10 | 189 | 27 | 86 |
| 10 — 20 | 301 | 34 | 89 |
| 20 — 30 | 401 | 47 | 88 |

Поэтому дальнейшее совершенствование этого способа пылеподавления, повышение его оздоровительной эффективности возможно, например, на основе применения пены, предварительно обработанной в электрическом и магнитном полях.

2.4. ВЛИЯНИЕ ПАВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

В целях изучения влияния ПО-1 на технологию переработки свинцового концентрата и процесс обогащения исследовалось распределение пенообразователя между дробленным ломом и оборотной водой. Для этого в стеклянном стакане (200 мл) магнитной мешалкой в течение 10 мин перемешивалась пульпа, состоящая из растворов ПО-1 и измельченного свинцового лома в соотношении 10:1. Концентрация ПО-1 в растворе составляла от 0,05 до 1,0%. Результаты проведенных исследований показали, что концентрация ПО-1 в растворе до контакта с измельченным свинцовым ломом и после практически не менялась.

Наиболее узким местом в процессе обогащения свинцового лома является вспенивание оборотной воды в различных узлах технологической системы. Поэтому была изучена степень вспенивания оборотной воды из бака питания гидроциклона, слива классификатора и сгустителя при различных концентрациях пенообразователя (табл. 28). Растворы ПО-1 (500 мл) вспенивались на установке «Размельчитель тканей» в течение 30 с.

Таблица 28. Степень вспенивания оборотной воды при различных концентрациях ПО-1

| Объем пенообразователя, мл | Концентрация пенообразователя, % | Объем пены, мл |
|--|----------------------------------|----------------|
| <i>Вода из бака питания гидроциклона</i> | | |
| 0,005 | 0,0015 | — |
| 0,01 | 0,002 | — |
| 0,02 | 0,004 | 20 |
| 0,03 | 0,006 | 40 |
| 0,04 | 0,008 | 70 |
| 0,05 | 0,010 | 100 |
| 0,06 | 0,012 | 150 |
| <i>Слив классификатора</i> | | |
| 0,005 | 0,001 | — |

| | | |
|------------------------|-------|-----|
| 0,01 | 0,002 | — |
| 0,02 | 0,004 | 20 |
| 0,03 | 0,006 | 40 |
| 0,04 | 0,008 | 100 |
| 0,05 | 0,01 | 150 |
| <i>Слив сгустителя</i> | | |
| 0,005 | 0,001 | — |
| 0,01 | 0,002 | — |
| 0,02 | 0,004 | 20 |
| 0,03 | 0,006 | 50 |
| 0,04 | 0,008 | 100 |
| 0,05 | 0,01 | 150 |

Как видно из приведенных в табл. 28 данных, оборотная вода, взятая из разных точек технологического процесса, при одинаковых концентрациях пенообразователя имеет приблизительно равную вспениваемость. Заметное вспенивание происходит при введении пенообразователя в воду в количестве 0,008 — 0,01%.

Однако в реальных условиях цеха РАЛ Лениногорского полиметаллического комбината при пылеподавлении пеной вспениваемость оборотной воды под действием ПО-1 не наблюдалась.

Следует отметить, что в лаборатории Ачисайского полиметаллического комбината проведены исследования влияния растворов ПО-6К на флотацию шалкиинской руды. При этом расход пенообразователя составил при 1%-ном растворе 10 г на тонну руды, а при 3%-ном — 30 г/т.

Установлено, что введение растворов пенообразователя в цикл свинцовой флотации не снижает её показатели, причем извлечение свинца в свинцовый концентрат находится в пределах 32 — 34%, а в грубый свинцовый — 74 — 76% (табл. 29).

Таблица 29. Влияние пенообразователя ПО-6К на процесс флотации руды

| Расход пенообразователя, г/т | Извлечение металла, % | | Концентрат |
|------------------------------|-----------------------|-------|------------------|
| | Pb | Zn | |
| Без пенообразователя | 32,0 | 2,39 | Свинцовый |
| | 1,31 | 24,98 | Цинковый |
| | 79,05 | 31,21 | Грубый свинцовый |
| | 8,93 | 40,61 | Грубый цинковый |
| 5,0 | 29,2 | 2,41 | Свинцовый |
| | 1,22 | 24,01 | Цинковый |
| | 76,4 | 37,65 | Грубый свинцовый |
| | 8,07 | 36,71 | Грубый цинковый |
| 10 | 38,62 | 3,37 | Свинцовый |
| | 1,95 | 28,0 | Цинковый |
| | 74,56 | 33,05 | Грубый свинцовый |
| | 9,76 | 40,3 | Грубый цинковый |
| 20 | 34,05 | 2,65 | Свинцовый |

| | | | |
|----|-------|-------|------------------|
| 30 | 1,52 | 28,84 | Цинковый |
| | 75,51 | 31,37 | Грубый свинцовый |
| | 9,39 | 44,08 | Грубый цинковый |
| | 32,5 | 2,73 | Свинцовый |
| | 1,7 | 30,12 | Цинковый |
| | 74,25 | 30,42 | Грубый свинцовый |
| | 8,64 | 42,26 | Грубый цинковый |

Пенообразователи ПО-1 и ПО-12 испытывались в качестве добавок к вспенивателю Т-80 при флотации миргалимсайской руды. Как установлено, добавки в пределах от 5 до 50 г/т не ухудшают технологические показатели при обогащении местных руд, но при этом необходимо снижать расход Т-80 до 35 г/т.

Пенообразователь ПО-1 в условиях флотации руды является слабым вспенивателем и менее селективен по сравнению с Т-80.

Таким образом, при пылеподавлении пеной на горнорудных предприятиях существенного влияния применяемые растворы пенообразователей на технологические процессы не оказывают.

СПОСОБЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЯ ПЕНОЙ

3.1 ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ ПЕНЫ

Электризация пены может быть осуществлена зарядкой (ионной, индукционной и контактной) как капель растворов пенообразователя, так и генерируемых пузырьков пены.

В связи с этим необходимо отметить некоторые особенности применения в практике гидрообеспыливания электроразряженных капель, позволяющих значительно повысить эффективность улавливания тонкодисперсной пыли. Так, если при пылеподавлении обычной водой эффективность улавливания пылинок размером 1, 2, 4, 8, 11 мкм составляет соответственно 5, 20, 24, 52, 58%, то электризация капель воды повышает её до 20, 32, 56, 75, 84%, а при одновременной электризации капель и частиц пыли противоположными знаками эффективность увеличивается ещё больше (табл. 30) [14].

Таблица 30. Эффективность улавливания пыли электроразряженными каплями, %

| Способ пылеподавления | Размеры частиц пыли, мкм | | | | |
|--|--------------------------|-----------|-----------|------------|------|
| | 0,5 - 1,4 | 1,4 - 2,8 | 2,8 - 5,6 | 5,6 - 11,2 | 11,2 |
| Обычной водой: | | | | | |
| заряд пыли естественный | 5 | 20 | 24 | 52 | 58 |
| с предварительной электризацией пыли | 48 | 60 | 73 | 90 | 92 |
| Электроразряженными каплями: | | | | | |
| заряд пыли естественный | 20 | 32 | 56 | 75 | 84 |
| с предварительной электризацией пыли противоположным знаком | 64 | 70 | 80 | 95 | 98 |

При пылеподавлении электроразряженными каплями витающей пыли оптимальный расход воды составляет 13 — 17 г/м³.

Установлено, что пылеподавление электроразряженными каплями эффективно при заряде капель не менее 10⁻¹³ Кл [14, 62].

В настоящее время разработаны различные конструкции устройств для электризации капель воды контактным и индукционным способами, а также в поле униполярной короны (рис. 26).

В Казахстане эти устройства были успешно внедрены на Балхашском и Джекказганском горно-металлургическом, а также Текелийском свинцово-цинковом комбинатах.

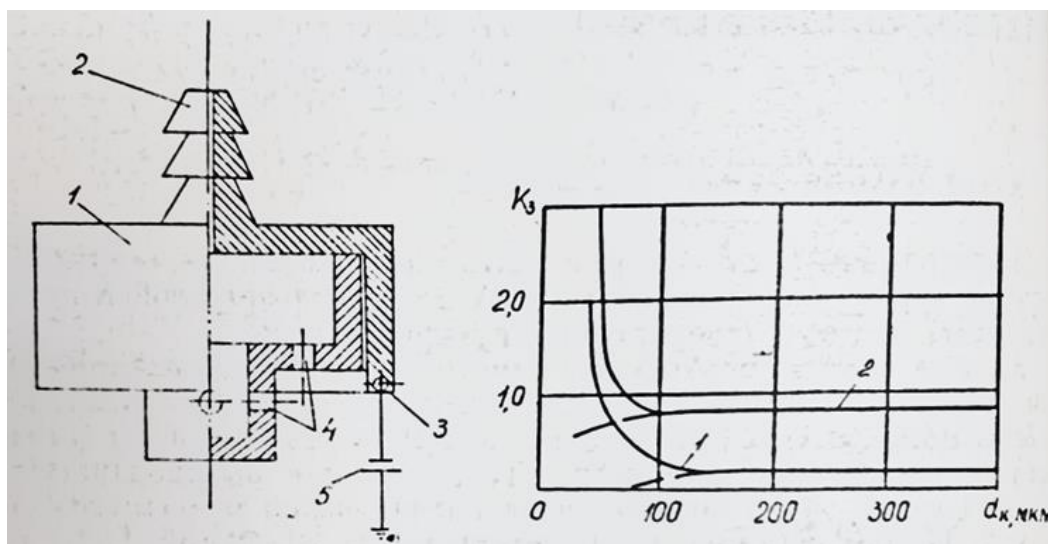


Рис. 26. Электроороситель: 1 — корпус; 2 — штуцер; 3 — изолированный индуцирующий электрод; 4 — сопла; 5 — высоковольтный источник

Рис. 27. Зависимость коэффициента захвата k_3 от размера электрoзаряженных капель воды (величина заряда капель равна $3,3 \cdot 10^{-13}$ Кл, пылинки не заряжены): 1, 2 — диаметр пылинок 10 и 20 мкм соответственно

Эффективность пылеподавления при электризации капель воды в основном обусловлена повышением коэффициента захвата заряженными каплями заряженных и незаряженных частиц пыли, снижением силы поверхностного натяжения капель и увеличением сил адгезии между каплей и пылинкой.

Заметим, что каждому значению заряда капли соответствует предельная величина её диаметра, которая увеличивается с ростом заряда капель и уменьшением размера частиц пыли (рис. 27). Из графика видно, что предельный диаметр капель для заряда $3,3 \cdot 10^{-13}$ Кл и пылинок диаметром 2 и 10 мкм равен примерно 120 и 90 мкм. Здесь же пунктиром изображены зависимости коэффициента захвата частиц пыли от диаметра капель, не имеющих заряда. При достаточно крупных каплях электрический заряд не оказывает влияния на величину коэффициента захвата, о чем свидетельствует полное совпадение пунктирных и сплошных кривых.

На рис.28 представлена зависимость коэффициента захвата электрoзаряженных капель от размера нейтральных и заряженных пылинок.

Как видно из рис.28, коэффициент захвата пыли электрoзаряженными каплями воды наибольший при взаимодействии разноименно заряженных капель и пылинок. Вместе с тем использование для пылеподавления даже униполярно заряженных с частицами пыли капель позволяет получить значительный эффект.

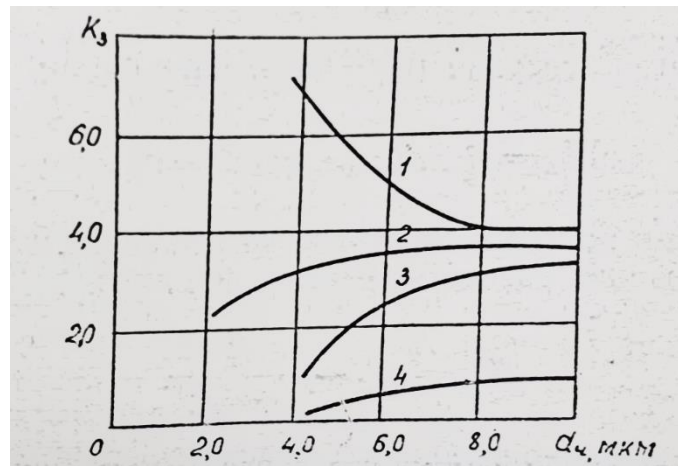


Рис. 28. Влияние заряда $q_{\text{ч}}$ и размера $d_{\text{ч}}$ пылинок на эффективность их захвата электрозаряженными каплями воды ($q_{\text{к}} = 3 \cdot 10^{-13}$ Кл): 1 — $q_{\text{ч}} = -1,6 \cdot 10^{-17}$ Кл; 2 — частицы пыли не заряжены; 3 — $q_{\text{ч}} = 1,6 \cdot 10^{-17}$; 4 — частицы пыли и капли воды не заряжены

Величина отношения коэффициентов захвата пыли заряженными и незаряженными каплями, характеризующая эффективность электризации диспергированной воды, интенсивно растет с уменьшением размера частиц. Поэтому электризацию капель целесообразно применять в первую очередь для подавления мельчайших фракций витающей пыли, когда другие методы малоэффективны.

Для определения коэффициента захвата пыли диспергированной водой при наличии зарядов на частицах пыли и каплях можно использовать формулу [63]:

$$k_3 = \frac{48q_{\text{ч}}q_{\text{к}}}{\pi\rho_{\text{ч}}d_{\text{к}}d_{\text{к}}(d_{\text{к}}^2 - d_{\text{ч}}^2)}, \quad (3.1)$$

Исследования показали, что при взаимодействии электрозаряженных капель и витающей пыли с ростом заряда капель повышается кинетическая энергия частиц пыли, которая расходуется на преодоления сил поверхностного натяжения воды и внедрения пылинок в каплю.

Кинетическая энергия заряженной частицы, движущейся к заряженной капле, может быть определена по формуле

$$W_{\text{к}} = \frac{q_{\text{ч}}q_{\text{к}}}{4\pi\epsilon_0 r} - \frac{(\epsilon - 1)d_{\text{ч}}^2 q_{\text{к}}^2}{(\epsilon - 2)64\pi\epsilon_0 r^4}, \quad (3.2)$$

Внедрение частиц пыли в каплю происходит при условии

$$W_{\text{к}} > W_{\text{п}}, \quad (3.3)$$

где $W_{\text{п}}$ — энергия поверхностного натяжения капли:

$$W_{\text{п}} = \frac{2}{3} \pi d_{\text{к}}^2 \sigma_{\text{ж.г}} \cos(180^\circ - \theta), \quad (3.4)$$

При наличии на капле электрического заряда энергия её поверхностного натяжения рассчитывается по формуле

$$W'_{\text{п}} = \sigma_{\text{ж.г}} - \frac{q_{\text{к}}^2}{8\pi^2 \epsilon \epsilon_0 d_{\text{к}}^3}, \quad (3.5)$$

Из формулы (3.5) видно, что заряд капель наряду с повышением эффективности захвата и осаждения частиц пыли уменьшает поверхностное натяжение. Так, при изменении потенциала на капилляре распылителя от 0 до 8 кВ коэффициент поверхности натяжения воды снижается с 0,072 до 0,015 Н/м.

Необходимо отметить, что электризация капель становится наиболее интенсивной при среднем их диаметре менее 70 мкм. При этом минимальный суммарный заряд капель для улавливания разноименно заряженных пылинок размером 0,5 — 5 мкм составляет 10^{-3} Кл/кг, а нейтральных 10^{-2} Кл/кг. С возрастанием величины заряда электрическая энергия идет на преодоление внутримолекулярных сил, что приводит к вытягиванию капли в эллипсоид и последующему её дроблению. Явление дробления заряженных капель может быть использовано для электростатического распыления жидкостей и получения монодисперсных аэрозолей [63, 64].

Способность улавливать пыль каплями воды можно выразить коэффициентом пылеулавливания (1/с) [65]:

$$k_y = \frac{3Q_{\text{в}} l k_3}{2d_{\text{к}} V_{\text{о.п}}}, \quad (3.6)$$

где $Q_{\text{в}}$ — объемный расход воды, м³/с; l — длина участка орошаемого пространства, м; $V_{\text{о.п}}$ — объем орошаемого пространства, м³.

Коэффициент захвата (k_3) без электризации пыли при размере пылинок 0,5 — 1; 1 — 2; 2 — 4 мкм соответственно равен 0,013; 0,02; 0,027; коэффициент пылеулавливания (k_y) — 0,003; 0,005; 0,0067, а при электризации пыли и тех же размерах пылинок k_3 равен 0,55; 0,64; 0,82, k_y — 0,14; 0,16; 0,2. Электризация капель осуществлялась контактным способом, пылинки заряжались в устройстве коронного типа. Суммарный заряд капель при размере 50 мкм составлял 10^{-4} Кл/кг, а объемный расход воды равнялся $1,7 \cdot 10^{-5}$ м³/с [66].

Подавление пыли электростатическими каплями целесообразно применять у стационарных источников пылеобразования (места погрузки и перегрузки горной массы и др.).

Следует подчеркнуть, что электризация капель воды, кроме повышения эффективности пылеподавления, может быть средством оздоровления

атмосферы на рабочих местах путем насыщения воздуха легкими отрицательными ионами.

В целях повышения эффективности улавливания пыли тонких фракций и степени ионизации очищенного воздуха разработана конструкция фильтра тонкой очистки для установок кондиционирования воздуха на буровых станках [67]. Он снабжен закрепленными на форсунке изолированным индуцирующим и коронирующими кольцами (рис. 29).

При работе устройства частицы пыли и капли воды приобретают заряды противоположных знаков, и в результате действия электростатических сил происходит их коагуляция.

Внутри корпуса установлен фильтрующий элемент из синтетического материала, на поверхности которого образуются заряженные одноименно с каплями монодисперсные пузырьки воздуха, что также позволяет значительно увеличить эффективность осаждения пыли.

Кроме того, при растекании зарядов по всей поверхности смоченного фильтра наблюдается стабильный рост пузырьков за счет равномерного распределения жидкости.

Заряд капли можно определить по формуле [68]:

$$q_k = \pi m_k \chi d_k^2 U, \quad (3.7)$$

где m_k — масса капли, г; χ — удельная поверхностная плотность заряда, Кл/м²•г•В; U — потенциал, подаваемый на кольцевые электроды, В.

Интенсификация пылеподавления электростатически заряженными каплями может быть достигнута и за счет применения ПАВ. Как показали исследования, естественная электростатическая зарядность пенного аэрозоля значительно превышает степень электризации капель при прочих равных условиях. Так, если величина среднего удельного заряда пузырьков пены, обусловленного естественной электризацией, составляет порядка $3 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг, то для получения таких же зарядов на каплях необходимо приложить напряжение до 25 - 30 кВ, а в униполярно ионизированной среде с концентрацией ионов 10^{15} м⁻³ заряд капель на порядок меньше, чем естественный заряд пузырьков [69].

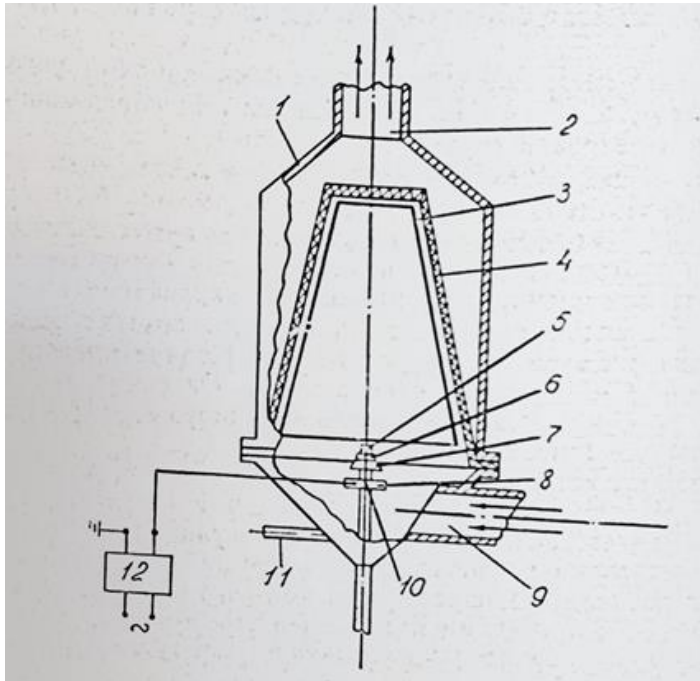


Рис. 29. Схема фильтра тонкой очистки для установок кондиционирования воздуха с электризацией капель воды: 1 — корпус; 2 — отвод очищенного воздуха; 3 — индуцирующая решетка; 4 — фильтрующий материал; 5 — форсунка; 6 — изолированное индуцирующее кольцо; 7 — диэлектрический козырёк; 8 — коронирующее кольцо; 9 — подвод запыленного воздуха; 10 — изолятор; 11 — подвод воды; 12 — источник питания

Естественный заряд пузырьков, сосредоточенный на их поверхности, возникает в момент его образования за счет флюктуаций концентрации ионов в пенообразующей жидкости, трибоэлектризации последней о стенки капилляра распылителя, а также осаждения газовых ионов распыляющего раствор воздуха и ряд других факторов. Величина суммарного заряда пузырьков для 5%-ного раствора ПО-1 при естественной электризации составляет $3,3 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг.

Экспериментальные исследования искусственной электризации пузырьков пены, полученных путем выдувания раствора ПО-1 из металлического капилляра, показали, что контактным способом при подаче потенциала непосредственно на капилляр +5 и -5 кВ можно получить максимальный заряд, равный соответственно $1,65 \cdot 10^{-3}$ и $3,36 \cdot 10^{-3}$ Кл/кг (рис. 30). Дальнейшее повышение потенциала нецелесообразно, поскольку происходит дробление струи жидкости на капли и пузырьки не образуются.

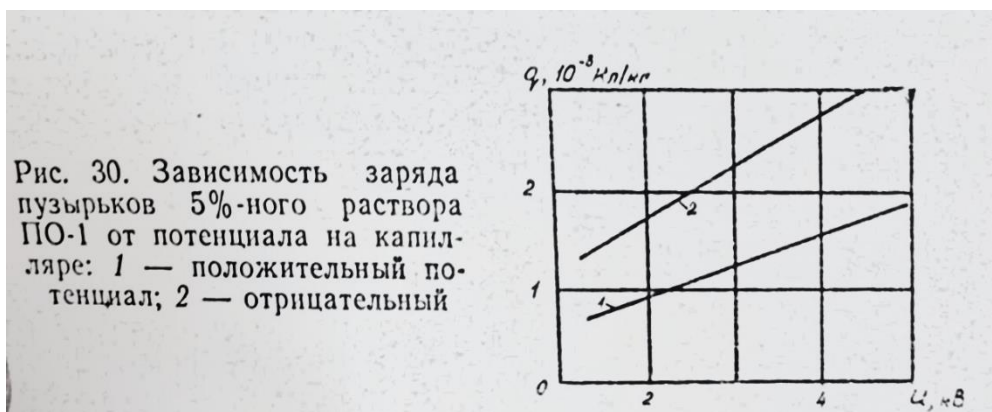


Рис. 30. Зависимость заряда пузырьков 5%-ного раствора ПО-1 от потенциала на капилляре: 1 — положительный потенциал; 2 — отрицательный

Как видно из графика на рис. 30, при положительном потенциале на капилляре величина заряда пузырьков в два раза меньше, чем при отрицательном, что объясняется преимущественно отрицательной естественной электризацией пузырьков пены.

Согласно исследованиям [69, 70], для сообщения такого же заряда каплям воды необходимо подать на форсунку потенциал 50 кВ и выше.

На рис. 31 представлена принципиальная схема экспериментальной установки для измерения заряда высокократной пены в процессе её генерации. Пену получали из 3%-ного раствора ПО-1 при кратности, равной 600. Электризация пены осуществлялась подключением установки к высоковольтному источнику.

При подаче предварительно ионизированного воздуха в зону диспергирования каплей раствора пенообразователя аэроионы, сталкиваясь с каплями, сообщают последним электрический заряд, который затем передается пене. Как установлено, величина заряда при этом не превышает 10^{-5} Кл/кг.

Вместе с тем при такой электризации пены потребляемая мощность источника питания может быть значительной, а величина заряда пены не стабильна. Кроме того, возможно засорение коронирующего электрода взвешенными в нагнетаемом воздухе частицами пыли. С точки зрения условий безопасности способ также не лучший.

Индукционная зарядка каплей пенообразователя происходит в зоне влияния (индукции) изолированного кольцевого электрода, установленного вблизи сопла распылителя.

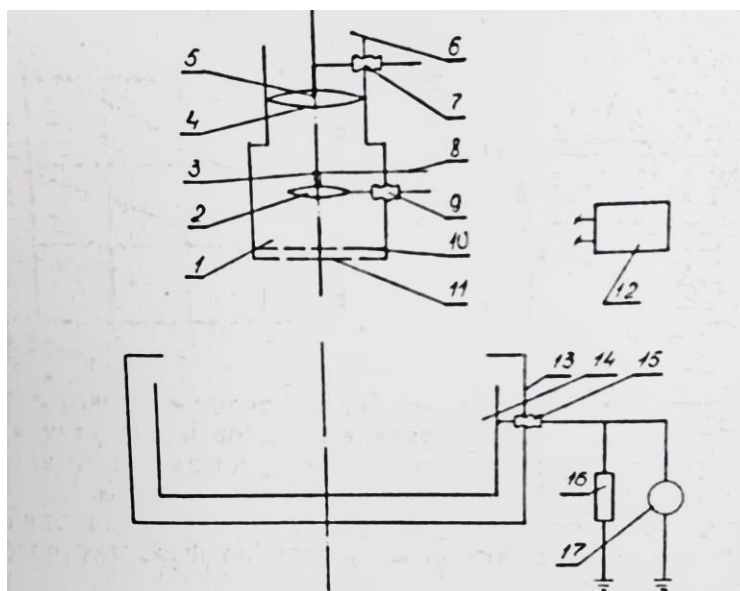


Рис.31. Установка для определения заряда пены: 1 — пеногенератор; 2 — индуцирующее кольцо; 3 — форсунка; 4 — кольцевой электрод; 5 — коронирующая игла; 6 — воздухоподводящий патрубок; 7, 9, 15 — изоляторы; 8 — раствороподающая трубка; 10 — пенообразующая сетка; 11 — электризующая решетка; 12 — источник высокого напряжения; 13 — цилиндр Фарадея; 14 — емкость для набора пены; 16 — измерительное сопротивление; 17 — милливольтметр В7-16

В процессе электризации капель раствора ПАВ они, отталкиваясь друг от друга из-за одинаковой полярности, будут стремиться равномерно расположиться в пространстве диффузора пеногенератора, а при их попадании на сетку обеспечивается устойчивая генерация пены за счет растекания заряженных капель по всей поверхности сетки.

Угол факела электризованных капель можно определить формуле [71]:

$$\operatorname{tg} = (A_{\phi} \mu d_k I) / (d_{\phi}' E^2 q), \quad (3.8)$$

где A_{ϕ} — расчетная постоянная; I — ток факела (за счет переноса заряда каплями), А; d_{ϕ}' — диаметр факела в данном сечении, м.

На основании формулы (3.8) можно заключить, что чем больше напряженность поля и заряд капли, тем меньше угол факела и капли с большей скоростью летят к сетке.

При контактном способе электризации самой пены она приобретает заряд с поляризованной диэлектрической поверхности решетчатого электрода, установленного за пенообразующей сеткой.

Применение контактной электризации пены позволяет получить наибольший заряд, величина которого достигает $5 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг [73].

На основе этого способа разработана конструкция генератора электроразряженной пены, позволяющая повысить эффективность подавления тонкодисперсной пыли (рис. 32). Пеногенератор содержит систему соединенных между собой электризирующих пластин, выполненных из токопроводящего материала и покрытых диэлектрическим слоем [73].

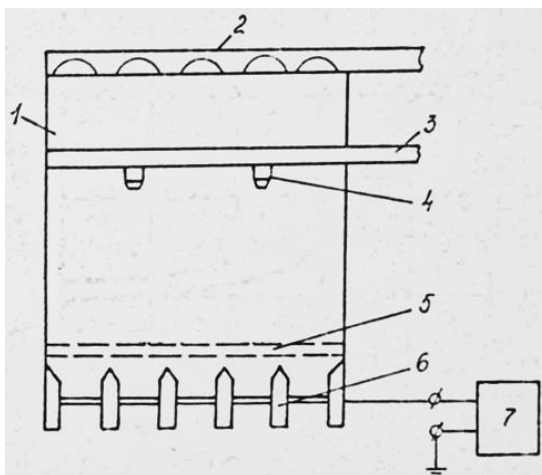


Рис. 32. Схема пеногенератора электроразряженной пены: 1 — корпус; 2 — воздухоподводящий канал с отверстиями; 3 — раствороподводящий канал; 4 — форсунка; 5 — пакет-сетка; 6 — электризирующие пластины; 7 — источник высокого напряжения

При генерации пены пузырьки, соприкасаясь с заряженной поверхностью пластин, электризуются.

Для предотвращения утечек электрического заряда с поверхности пены корпус пеногенератора выполнен из диэлектрического материала.

Поверхностную плотность зарядов (Кл/м²) можно определить по формуле [74]:

$$\sigma = \frac{2\pi n \varepsilon_0 U}{2K - 1}, \quad (3.9)$$

где n — коэффициент, зависящий от геометрических параметров пеногенератора и размеров заполняемого пеной объёма.

Анализ зависимости поверхностной плотности заряда от кратности пены показывает, что опытные данные меньше теоретических (рис 33). Так, оптимальная плотность заряда, по теоретическим данным, равна $4 \cdot 10^{-6}$ Кл/м² при 0,75%-ной концентрации пенообразователя, практически же величина заряда составляет $5 \cdot 10^{-6}$ Кл/м² при 1,5%-ной концентрации, что обусловлено сложной зависимостью кратности пены от концентрации пенообразователя, особенно для высокократной пены.

Пеногенераторные установки высокократной заряженной пены (рис. 34) внедрены в дробильном отделении цеха подготовки шихты БГМК для подавления пыли, образующейся при транспортировке оборотного медьсодержащего шлака.

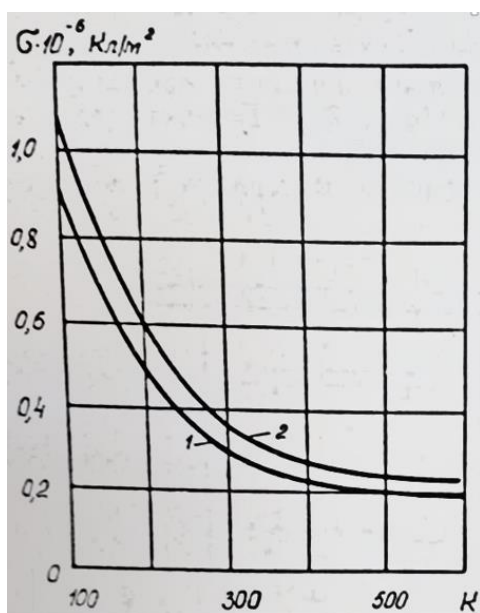


Рис. 33. Зависимость поверхностной плотности заряда пены от кратности при постоянном потенциале и удельной проводимости пенообразователя: 1 — экспериментальные данные; 2 — теоретические

Они были установлены на узлах перегрузки сырья с лоткового питателя дробилки ККД-500 на 36-й конвейер и с 36-го на 37-й конвейер. Производительность дробилки составляет 160 м³/ч, скорость движения ленты конвейера — 0,85 м/с и ширина ленты 0,8 м.

Результаты исследований эффективности пылеподавления электростатически заряженной и обычной пеной приведены в табл. 31.

Техническая характеристика пеногенератора

| | |
|--|---------|
| Производительность (м ³ /мин) | 3 - 5 |
| Кратность пены | 600 |
| Расход раствора пенообразователя (л/мин) | 3,5 - 6 |
| Концентрация рабочего раствора ПО-1 (%) | 3 |
| Давление раствора ПО-1 (МПа) | 3 - 5 |
| Напряжение (кВ) | 12 - 13 |
| Габаритные размеры (мм) | |
| длина | 700 |
| ширина | 470 |
| высота | 448 |
| Масса (кг) | 10,7 |

Промышленные испытания показали, что электризация высокократной пены позволяет снизить запыленность на рабочих местах в 18 раз. Выброс пыли в атмосферу при вентиляции уменьшается в 3 — 4 раза.

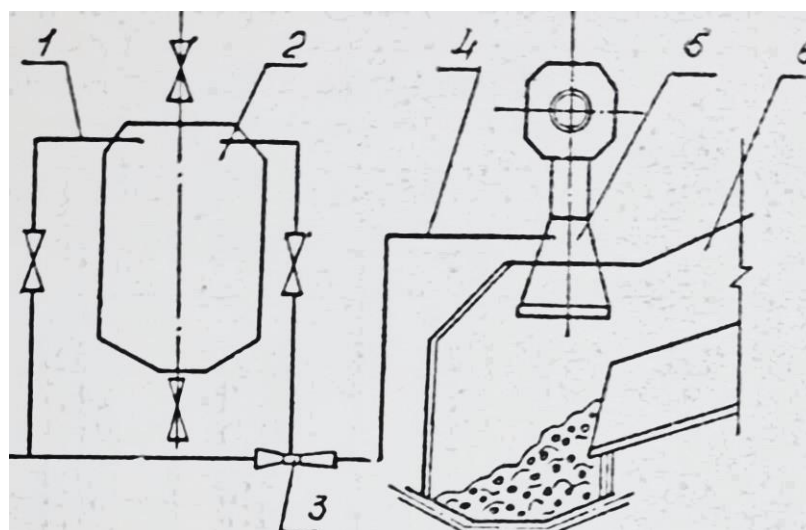


Рис.34. Схема пылеподавляющей установки: 1 - водопровод; 2 - бак с пенообразователем; 3 - устройство автоматической дозировки пенообразователя; 4 - трубопровод раствора пенообразователя; 5 - пеногенератор; 6 - узел перегрузки сырья

При взаимодействии пыли с поверхностью электростатически заряженной пены повышение эффективности улавливания пыли тонкой фракции обусловлено в основном влиянием сил электрического поля на захват пылевых частиц пузырьком

Таблица 31. Влияние электризации пены на эффективность пылеподавления

| Место отбора проб | Запыленность воздуха, мг/м ³ | | | Эффективность пылеподавления пеной, % | |
|---|---|--------------------|-------------------|---------------------------------------|-------------------|
| | без пылеподавления | с применением пены | | обычной | электрозаряженной |
| | | обычной | электрозаряженной | | |
| Галерея 36-го конвейера | 586 | 173 | 140 | 70 | 76 |
| Узел перегрузки с 36-го на 37-й конвейер | 1 252 | 176 | 149 | 86 | 88 |
| Галерея 37-го конвейера (рабочее место транспортерщика) | 606 | 56 | 33 | 90 | 95 |

пены, возникновением электрических сил взаимодействия между заряженной поверхностью пены и пылинками, несущими на себе естественный заряд.

Данные количественного распределения (%) частиц пыли по размерам при различных способах пылеподавления пеной подтверждают эффективность

Таблица 32. Распределение частиц пыли по размерам при пылеподавлении электрозаряженной пеной

| Размер частиц пыли, мкм | Доля частиц пыли при пылеподавлении пеной, % | | | |
|-------------------------|--|-------|-------------------|-------|
| | обычной | | электрозаряженной | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Менее 1,0 | 33,0 | 32,8 | 33,7 | 21,2 |
| 1,0-2,0 | 22,0 | 22,6 | 24,7 | 22,5 |
| 2,0-3,0 | 23,0 | 24,0 | 21,8 | 17,9 |
| 3,0-5,0 | 12,0 | 9,6 | 9,1 | 8,4 |
| 5,0-10 | 8,4 | 10,7 | 8,1 | 24,3 |
| Более 10 | 1,6 | 1,3 | 2,6 | 5,7 |
| | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |

Примечание. 1 — до и 2 — после пылеподавления.

улавливания тонкодисперсной пыли электрозаряженной пеной (табл. 32).

На рис. 35 и 36 представлена эффективность пылеподавления обычной и электрозаряженной пеной в зависимости от высоты слоя пены и концентрации пыли.

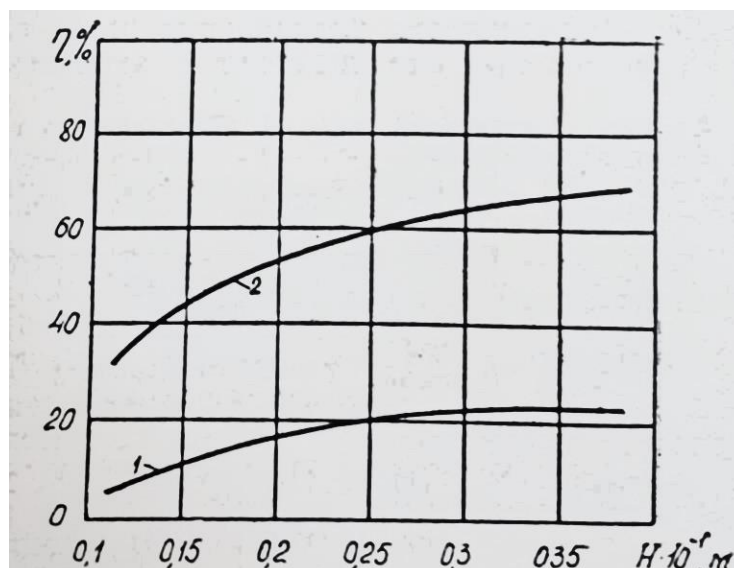


Рис. 35. Эффективность пылеподавления пеной в зависимости от высоты пенного слоя: 1 — $d_p < 3$ мкм без электризации; 2 — $d_p < 3$ мкм с электризацией

Таким образом, пылеподавление электростатически заряженной пеной позволяет значительно улучшить санитарно-гигиенические условия труда на рабочих местах за счет уменьшения загрязнения воздушной среды.

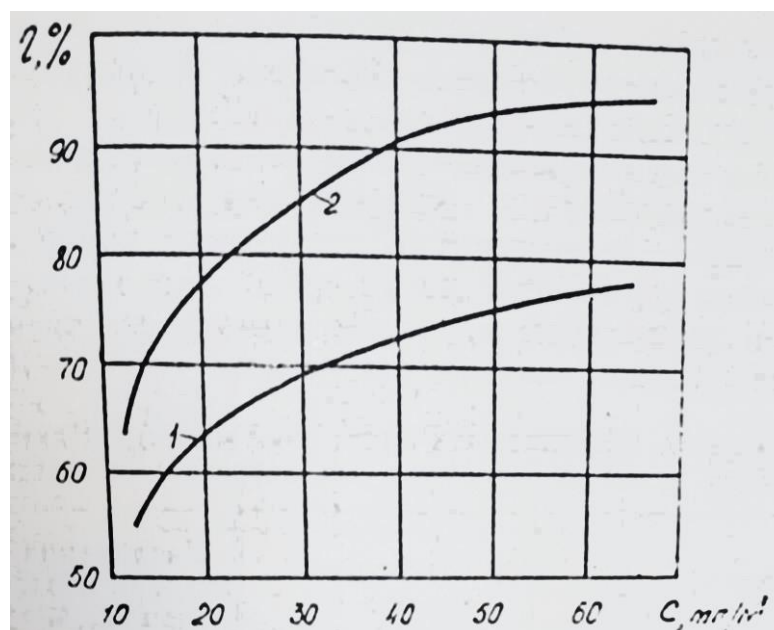


Рис. 36. Эффективность пылеподавления пеной в зависимости от концентрации пыли: 1 — без электризации; 2 — с электризацией пены

3.2 МАГНИТНАЯ АКТИВАЦИЯ РАСТВОРОВ ПАВ

В настоящее время магнитная активация водных систем широко применяется во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства. При этом происходит улучшение качества продукции и интенсификация многих процессов (табл. 33 и 34) [75, 76, 77].

Таблица 33. Влияние магнитной активации на флотацию медно-молибденовой руды (фабрика “Медет”, НРБ)

| Показатели | Без магнитной активации | После магнитной активации |
|-------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Переработано руды, т | 21 890 | 23 900 |
| Извлечение (%): | | |
| меди | 77,21 | 79,99 |
| молибдена | 78,84 | 85,79 |
| Прирост извлечения (%): | | |
| меди | - | 2,78 |
| молибдена | - | 6,95 |

Аппараты для магнитной активации водных систем в нашей стране серийно выпускают Московский чугунолитейный завод им. Войкова, Рыбинский электромеханический завод (г. Рыбинск), Чебоксарский электромеханический завод «Энергозапчасть» и др.

За рубежом такие аппараты производятся бельгийской фирмой «Эпуро», английскими фирмами «Поляр», «Гидродинемик дискейлерз Лтд» и американской «Паккард» [78, 79].

Установлено, что под воздействием магнитных полей изменяются поверхностное натяжение, смачивающая способность воды и её растворов. Причём поверхностное натяжение колеблется от 0 — 3,5% для дистиллированной до 25 — 35% для технической воды. Плотность и вязкость воды меняются незначительно: на 0,2 — 0,3 и 4 — 5% соответственно; электропроводность — на 8 — 10%.

Таблица 34. Эффективность применения магнитной активации водных систем на обогатительных фабриках Казахстана

| Фабрика | Обрабатываемая система | Увеличение степени извлечения, % | Годовая экономия, тыс.руб. |
|---|--|----------------------------------|----------------------------|
| Текелийская свинцово-цинковая (1968 г.) | Раствор ксантогената, медного и цинкового купороса (8 аппаратов) | 0,446 свинца | 82 |
| Джезказганская медная № 1 (1968 г.) | Содовый раствор ксантогената (2 аппарата) | 0,2 меди | 20 |
| Джезказганская медная №2 (1968 г.) | Пульпа (4 аппарата) | 1,5 цементной меди | 102 |
| Карагайлинская (1970 г.) | Техническая вода, раствор ксантогената (2 аппарата) | 1 свинца, 1 барита | 31 |
| Майкаинская (1969 г.) | Техническая вода и растворы ксантогената и цинкового купороса (3 аппарата) | 1,5 меди, 2 свинца | 20 |
| Джезказганская (1973 г.) | Техническая вода (8 аппаратов) | 0,22 меди | 58 |

Применение омагниченной воды при гидрообеспыливания значительно улучшает (на 20 — 30%) физико-химический процесс взаимодействия горной массы с водой. Смачивающие свойства воды изменяются не только в процессе магнитной активации, но и после воздействия магнитного поля в течение 30 — 60 мин.

Следует отметить, что большей адсорбционной способностью обладают мелкие фракции (на 20 — 25%), а также крепкие породы. Так, алевриты капиллярно впитывают омагниченную воду на 15 - 20, углефицированные аргиллиты - на 20 - 30 и песчаники - на 30 - 40%. Увеличение количества адсорбированной воды обеспечивает равномерное повышение в угле (породах) влаги, что обусловлено следующими свойствами омагниченной воды: более плотной упаковкой молекул по сравнению с обыкновенной водой; меньшей упругостью пара; особым состоянием (адсорбционная вода представляет собой двухмерную, иногда трехмерную пленку), позволяющим обработанной в магнитном поле воде длительное время сохраняться в горной массе при её разрушении; миграция ионов и молекул омагниченной воды расклинивает увлажняемый уголь (породу), ослабляя горную массу до начала разрушения [80].

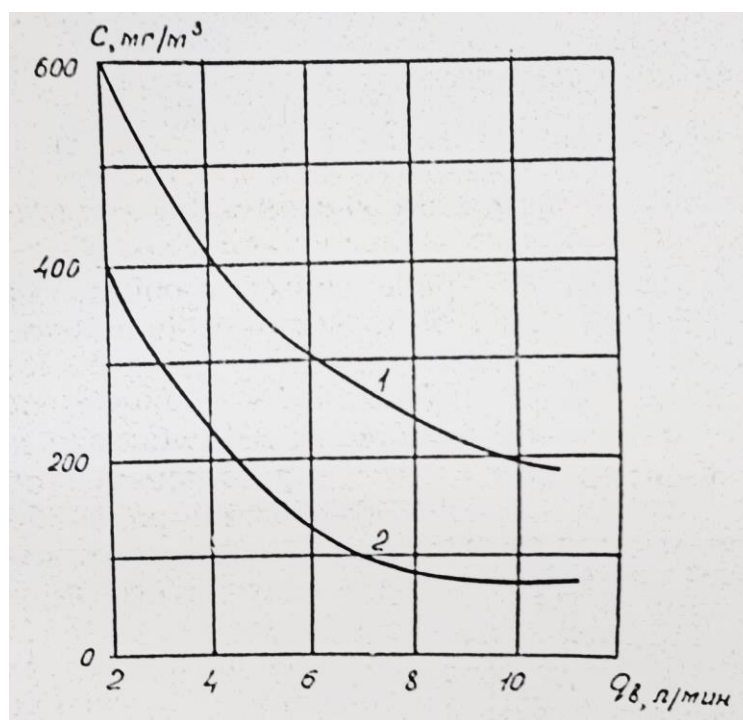


Рис. 37. Изменение запыленности воздуха в шахте при гидроорошении:
1 — обычной и 2 — омагниченной водой

При орошении омагниченной водой в шахтах Караганды остаточная запыленность воздуха на рабочем месте машиниста узкозахватного комбайна, работающего в 4 — 5 м от завесы, оказалась в 1,5 - 2,5 раза меньше, чем при орошении обычной водой (рис.37, табл. 35)

Отмечено, что предварительное увлажнение угля обычной шахтной водой уменьшает удельный выход пыли на 82, а омагниченной на 95% [81].

Магнитная активация воды, используемой в водяных завесах рудников, позволяет повысить степень улавливания в основном тонких фракций наиболее токсичной пыли.

В лабораторных условиях были проведены исследования пылеулавливающей способности омагниченной воды и растворов различных ПАВ (мылонафта, ДБ), результаты которых представлены в табл. 36. Как следует из приведенных данных,

Таблица 35. Снижение запыленности воздуха в шахтах Караганды при использовании омагниченной воды

| Показатели | Шахта | | Шахта им. Костенко | | | |
|--|-------------|------|--------------------|------|--------------------|------|
| | «Волынская» | | расход воды 10 л/т | | расход воды 15 л/т | |
| | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 |
| Влажность угля, % | 3,13 | 3,84 | 2,73 | 3,07 | 3,02 | 3,47 |
| Запыленность воздуха на уровне дыхания машиниста комбайна, мг/м ³ | 721 | 419 | 371 | 257 | 291 | 226 |
| Снижение запыленности, % | — | 42 | — | 30 | — | 22 |

Примечание. 1 — применение обычной и 2 — омагниченной воды.

эффективность улавливания витающей пыли омагниченной водой по сравнению с обычной возрастает в 3 раза.

Имеется немало экспериментальных данных об изменении свойств воды при магнитной активации и улучшении процессов пылеулавливания. Однако нет

Таблица 36. Сравнительная оценка пылеулавливающей способности различных водных систем

| Вода | Уловленная пыль, г | |
|-----------------|--------------------|----------|
| | породная | угольная |
| Обычная | 1 | 1 |
| С добавкой: | | |
| 0,1 % ДБ | 1,66 | 2,3 |
| 0,1 % мылонафта | 1,87 | 1,66 |
| Омагниченная | 3,28 | 2,82 |

удовлетворительных и общепринятых объяснений разнообразным явлениям, происходящим при действии магнитного поля на водные системы.

Одна из вероятных причин изменения физико-химических свойств воды и водных растворов при магнитной активации — внутренняя структура жидкости и её чувствительность к действию магнитного поля.

Согласно исследованиям [82, 83], вода состоит из рыхлого льдообразного каркаса и более плотной аморфной фазы. Размеры полости каркаса — $2,8 \cdot 10^{-10}$ м, они могут быть заполнены как мономерными молекулами воды, так и ионами растворенных веществ (в водных растворах). Внутри полости каркаса попадают только те ионы, радиусы которых менее $1,4 \cdot 10^{-10}$ м. Эти ионы принято называть положительно гидратированными, так как они связывают в своем ближайшем окружении молекулы воды в льдоподобном каркасе. Ионы с радиусом больше $1,4 \cdot 10^{-10}$ м называют отрицательно гидратированными, их внедрение в полость сопровождается разрушением каркаса.

Наличие ажурного льдоподобного каркаса обуславливает большую величину сжимаемости воды [83]:

$$\beta = \frac{1}{V_p} \frac{dV_p}{dP}, \quad (3.10)$$

где V_p — объем растворенного вещества, м^3 ; P — внешняя нагрузка, $\text{кг}/\text{м}^3$.

По мере заполнения пустот каркаса молекулами воды и ионами растворенного вещества сжимаемость воды уменьшается. Наложение магнитного поля вызывает изменение структуры молекулы воды, что сопровождается дополнительным возрастанием плотности и уменьшением сжимаемости растворов. Вследствие этого разрывается часть наиболее слабых водородных связей между молекулами воды, уменьшаются размеры ассоциатов (областей), сохраняющих структуру льда, т.е. происходит изменение в той или иной степени структуры водно-дисперсной системы в целом.

Воздействуя на молекулы воды, составляющие ближнее и дальнее окружение ионов, ослабляя связи одних и усиливая связи других, магнитное поле вызывает также изменение энергии взаимодействия ионов с молекулами воды (ближняя гидратация) и поляризации молекул в прилегающих к ионам слоях (дальняя гидратация).

Движущей силой в процессе магнитной активации водных растворов является сила Лоренца, возрастающая с увеличением заряда иона, напряженности поля, скорости перемещения иона (водного раствора) и угла пересечения им линий магнитного поля [83]:

$$F = kq_n H v_n \sin \alpha_n, \quad (3.11)$$

где k — коэффициент пропорциональности; $q_{и}$ — заряд иона, Кл; H — напряженность магнитного поля, А/м; $v_{и}$ — скорость иона, м/с; $\alpha_{п}$ — угол между направлением поля и движением иона, град.

Положительно и отрицательно заряженные ионы (катионы и анионы) под действием сил Лоренца отклоняются в противоположные стороны.

Следует отметить, что в результате действия магнитного поля в жидкости происходит коагуляция микропузырьков, их удаление из воды, дегазация водных растворов, в частности снижается содержание O_2 и изменяется углекислотное равновесие водной системы с выделением нерастворимого CO_2 .

Вместе с тем установлена корреляция между эффектом магнитной активации растворов и концентрацией растворенного кислорода. Эффект магнитной активации возрастает с увеличением концентрации газа в растворе. Полагают, что в этом случае молекулы кислорода с большей скоростью мигрируют по пустотам структуры воды, ослабляя связи между молекулами жидкости и нарушая её структуру. Система становится менее равновесной и, следовательно, более подвержена воздействию магнитных полей.

В настоящее время получены экспериментальные данные, убедительно доказывающие положительное влияние магнитной активации растворов ПАВ на свойства пен и процесс пенообразования [84, 85].

В качестве ПАВ были выбраны отечественные пенообразователи ПО-1, ПО-12, ОП-10 (моноалкилфениловый эфир полиэтиленгликоля на основе полимердистиллята) и диталан OTS (смесь жирных алкилсульфатов) производства ГДР. Исследовались водные растворы с концентрациями (%): 0,5, 1,0, 2,0, 3,0, 4,0, 5,0, 6,0 — ПО-1; 1,0, 2,0, 3,0 — ПО-12; 3,0, 4,0, 5,0 — ОП-10 и 2,0, 3,0 — диталан OTS.

Выбор концентрации раствора в каждом случае осуществлялся исходя из пенообразующей способности данного ПАВ и условия генерации высокократной пены.

Пену получали с помощью лабораторного пеногенератора вентиляторного типа. Магнитная активация растворов производилась в аппарате трансформаторного типа (АТП) с максимальной напряженностью в рабочем зазоре 163 кА/м. Скорость движения растворов ПАВ в магнитном поле изменялась в пределах 0,5 — 1,0 м/с.

Влияние магнитного поля на свойства пен и производительность пеногенератора при различных концентрациях растворов показано в табл. 37.

Производительность пеногенератора характеризовалась отношением объёма полученной пены к времени его работы.

Как видно из приведенных данных, при магнитной активации водных растворов ПАВ наблюдается стабильное повышение кратности пены и производительности пеногенератора, а стойкость пены практически не изменяется. Оптимальным является пятикратное воздействие магнитного поля напряженностью 130 — 163 кА/м при скорости движения жидкости 0,8

— 0,9 м/с. При этом произвольные потери рабочего раствора снижаются более чем в 2 раза.

Установлено, что для каждого пенообразователя существует определенная концентрация раствора, при которой эффект магнитной активации максимален. Так, для ПО-1 это 3%-ный и для ПО-12 — 2%-ный раствор.

В результате математической обработки полученных данных методом моделирования определены эмпирические зависимости, описывающие изменение производительности пеногенератора и кратности пены с увеличением напряженности магнитного поля [83]:

$$P_r = \frac{H}{a_1 H^2 + a_2 H + a_3} + P_0, \quad (3.12)$$

$$K_r = \frac{H}{b_1 H^2 + b_2 H + b_3} + K_0, \quad (3.13)$$

где P_0 и K_0 — производительность пеногенератора и кратность пены, полученные в режиме генерации пены при отсутствии магнитного поля; a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 и b_3 — эмпирические коэффициенты.

Таблица 37. Результаты магнитной активации растворов ПАВ

| Пенообразователь | Концентрация раствора, % | v_p , м/с | H = 0 | | | H = 163 кА/м | | |
|------------------|--------------------------|-------------|-------------|-----|------------|--------------|-----|------------|
| | | | P_r , л/с | K | τ , с | P_r , л/с | K | τ , с |
| ПО-1 | 0,5 | 0,849 | 0,090 | 133 | 119 | 0,102 | 168 | 109 |
| | 1 | 0,808 | 1,196 | 300 | 93,2 | 0,250 | 403 | 88,3 |
| | 2 | 0,900 | 0,280 | 380 | 80,9 | 0,384 | 521 | 76,5 |
| | 3 | 0,878 | 0,280 | 420 | 65,0 | 0,405 | 635 | 61,3 |
| | 4 | 0,796 | 0,270 | 449 | 49,3 | 0,379 | 637 | 47,4 |
| | 5 | 0,822 | 0,328 | 487 | 44,7 | 0,384 | 600 | 43,2 |
| ПО-12 | 6 | 0,772 | 0,278 | 459 | 46,3 | 0,378 | 631 | 39,8 |
| | 1 | 0,878 | 0,447 | 657 | 140 | 0,499 | 754 | 136 |
| | 2 | 0,864 | 0,450 | 680 | 163 | 0,580 | 884 | 147 |
| ОП-10 | 3 | 0,796 | 0,412 | 665 | 173 | 0,507 | 821 | 144 |
| | 3 | 0,662 | 0,344 | 663 | 31,8 | 0,451 | 855 | 22,6 |
| Диталан | 4 | 0,660 | 0,329 | 611 | 23,5 | 0,453 | 884 | 18,2 |
| | 5 | 0,525 | 0,311 | 726 | 23,3 | 0,400 | 990 | 20,9 |
| OTS | 2 | 0,850 | 0,272 | 413 | 285 | 0,285 | 45 | 283 |
| | 3 | 0,808 | 0,0238 | 374 | 312 | 0,241 | 376 | 312 |

При максимальной напряженности поля коэффициент поверхностного натяжения у 0,5 — 3%-ных растворов ПО-1 снижается на 3 — 5% и у 0,5 — 2%-ных растворов ПО-12 — на 1,5 — 3%.

В табл.38 приведены данные по улавливанию тонкодисперсных частиц пыли (до 2 мкм) обычной и омагниченной пеной. Полученные результаты

показывают, что доля частиц в образцах уловленной пыли при пылеподавлении обычной пеной увеличивается в 2,3 раза, а при использовании омагниченной пены несколько уменьшается.

Таким образом, магнитная активация растворов пенообразователей позволяет улучшить процесс генерации и свойства высокократной пены и тем самым повысить эффективность пылеподавления.

На рис. 38 показан пеногенератор, предназначенный для получения омагниченной пены [86]. Для этого он снабжен закрепленной на распылителе конусообразной насадкой из немагнитного материала, на внутренней поверхности которого установлены постоянные магниты с противоположными полюсами в форме двух симметричных половин усеченного конуса, разделенных между собой немагнитными прокладками.

При работе устройства пенообразующий раствор поступает в распылитель, после чего поток пенного аэрозоля проходит на большой скорости магнитное поле переменной полярности с высоким градиентом напряженности, созданное постоянными магнитами. На пакете сеток при продувании пенообразующего раствора воздухом образуется омагниченная пена.

Таблица 38. Содержание частиц пыли до 2 мкм при использовании омагниченной пены

| H = 0 | | H = 163 кА/м | |
|-------|------|--------------|------|
| 1 | 2 | 1 | 2 |
| 24,4 | 56,3 | 35,4 | 28,8 |
| 20,0 | 41,8 | 34,2 | 29,2 |
| 26,5 | 65,2 | 48,3 | 42,3 |

Примечание. 1 - в исходных пылях, 2 - в пылях после применения пены.

Действие силы Лоренца со стороны магнитного поля на ионы раствора пенообразователя вызывает ускоренное их движение и, следовательно, появление сил инерции. Происходит дополнительный к естественному распад мицелл на отдельные молекулы, что ускоряет процесс образования адсорбционных слоёв на границе раздела фаз жидкость — газ. В результате повышается производительность пеногенератора и улучшаются свойства пены.

Установка с генератором омагниченной пены (рис. 39) внедрена на Лениногорском полиметаллическом комбинате в цехе разделки аккумуляторного лома. В зависимости от интенсивности источника пылеобразования сменой распылителя пеногенератора можно изменять производительность установки от 3 — 5 до 10 — 15 м³ пены в минуту. Насос-дозатор автоматически обеспечивает получение раствора пенообразователя необходимой концентрации. Предусмотрен вариант работы установки без насоса-дозатора. В этом случае раствор пенообразователя готовится заранее.

Магнитная активация пены позволяет увеличить кратность полученной пены и производительность установки на 25 - 30%, что обуславливает повышение экранирующей способности пены, а также ускорение процесса смачивания пыли и в целом возрастание пылеподавляющей способности пены. Так, эффективность подавления пеной особо токсичных свинцовых аэрозолей в цехе РАЛ при магнитной обработке 3%-ного раствора ПО-1 на 5 - 7% превышает эффективность обычной пены и составляет 96 - 97%.

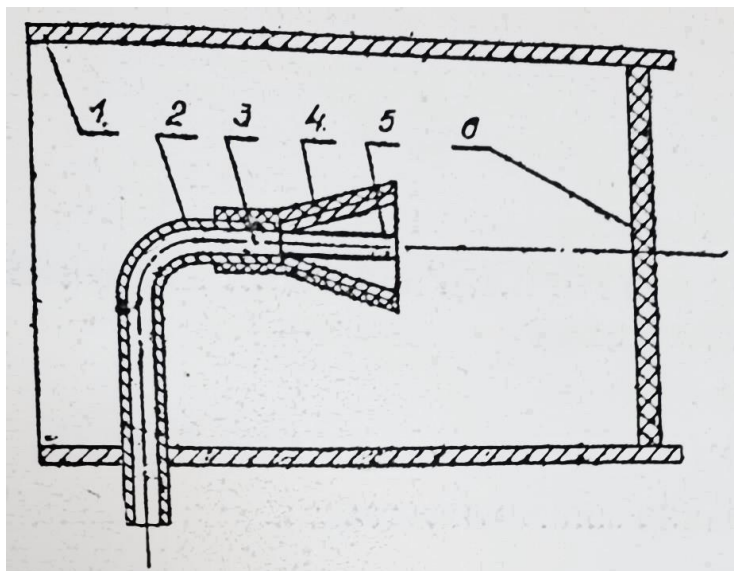


Рис. 38. Генератор для получения омагниченной пены: 1 — корпус; 2 — раствороподводящий патрубок; 3 — распылитель с насадкой из немагнитного материала; 4 — постоянные магниты; 5 — прокладка из немагнитного материала; 6 — пакет сеток

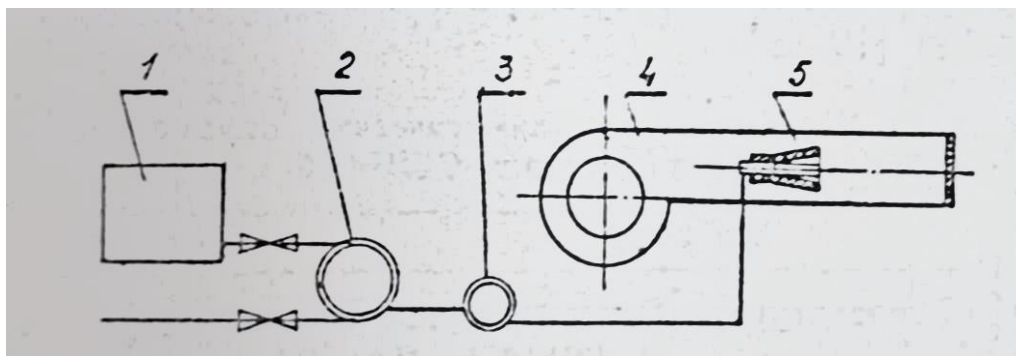


Рис. 39. Установка с генератором для омагничивания пены: 1 — емкость для пенообразователя; 2 — насос-дозатор; 3 — насос; 4 — вентилятор; 5 — генератор омагниченной пены

Таким образом, воздействие постоянного магнитного поля напряженностью порядка 160 кА/м на растворы пенообразователей позволяет улучшить свойства высокократной пены. Данный способ активации растворов ПАВ может быть использован для повышения эффективности пылеподавления в различных отраслях промышленности.

УЛУЧШЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАБОЧИХ МЕСТАХ

4.1 НОРМАЛИЗАЦИЯ МИКРОКЛИМАТА

Изучение атмосферных условий на рабочих местах горнорудных предприятий, особенно в кабинах горных машин и в карьерах, свидетельствует о том, что кроме запыленности воздуха нередко наблюдаются повышенная температура и низкая относительная влажность (табл. 39) [10, 26].

Таблица 39. Характеристика климатических параметров в кабине бурового станка СБШ-250

| Кол-во замеров | В карьере | | В кабине станка | |
|----------------|-------------------|----------------------------|-----------------|----------------------------|
| | Температура, °С | Относительная влажность, % | Температура, °С | Относительная влажность, % |
| 4 | (—33,8) — (—32,3) | 73,1 | 26,3 | 34,4 |
| 8 | (—24,2) — (—20,2) | 72,9 | 27,5 | 25,7 |
| 8 | (—20,0) — (—18,3) | 54,6 | 22,4 - 35,8 | 9 - 13 |
| 2 | (—17,4) — (—17,1) | 45 - 53 | 25,8 | 10 - 11 |
| 2 | (—12,7) — (—11,8) | 47 - 52 | 22,4 - 24,8 | 13 - 19 |
| 4 | (—9,9) — (—7,4) | 44 - 50 | 19,6 - 29,8 | 11 - 17 |
| 3 | (—5,7) — (—4,2) | 42 - 44 | 20,4 - 26,6 | 10 - 15 |
| 7 | 26,6 — 28,8 | 47 - 57 | 27,6 - 33,8 | 30 - 53 |

Величину теплопритоков в кабины (Вт) можно определить по формуле [10]:

$$Q = \sum k_T S_0 (t_n - t_k), \quad (4.1)$$

где k_T — коэффициент теплопередачи, Вт/(м²•К); S_0 — площадь участков кабины, через которые поступает тепло, м²; t_n — температура наружного воздуха, °С; t_k — температура воздуха в кабине, °С.

При $t_k > t_n$ произойдут потери тепла, а величина Q будет отрицательной.

Основными источниками тепла являются солнечная радиация (изменяющаяся в больших пределах в зависимости от времени года, прозрачности атмосферы, угла падения солнечных лучей на поверхность и других факторов), а также нагревательные элементы и обслуживающий персонал.

В табл. 40 приведены данные по теплопритокам в кабину экскаватора применительно к широте, близкой к 48°.

Таблица 40. Теплопритоки в кабину экскаватора

| Передача тепла | Теплоприток, кДж | |
|--------------------------------------|-------------------|------------------|
| | без теплоизоляции | с теплоизоляцией |
| Через потолок | 2960/—2440 | 278/—304 |
| Через пол | 680/—2400 | 140/—494 |
| Через наружные ограждения (без окон) | 6860/—6080 | 580/—760 |
| Через внутренние ограждения | 2860/—1620 | 493/—280 |
| Через остекления | 2628/—2770 | 2628/—2770 |
| От человека | 320/—410 | 320/—410 |
| Общий теплоприток | 16308/—15310 | 4439/—4198 |

Примечание. В числителе — данные для летнего периода, в знаменателе — для зимнего.

Тепловые параметры воздуха в карьерах и кабинах зависят в основном от особенностей климата района расположения рудников открытых работ, большинство которых в республике находятся в зоне резко континентального климата с абсолютным максимумом летних (39 — 40°C) и зимних (минус 32 — 52°C) температур. Наиболее неблагоприятные условия труда (высокая температура воздуха в совокупности с интенсивной солнечной радиацией и тепловым излучением от нагретых скальных пород) создаются в теплый период года. По мере увеличения глубины карьера в нем на каждые 100 метров температура воздуха повышается на 1 — 1,5°C при одновременном снижении скорости движения воздуха в 2 — 7 раз. В холодный период года рабочие подвергаются воздействию низких температур и атмосферных осадков. Температура воздуха зимой в кабинах буровых станков и экскаваторов при отсутствии отопления и кондиционирования понижается до -8°C. Применение же нагревательных устройств, как видно из табл. 39, также создает дискомфортные условия. Сочетание высоких и низких температур воздуха с незначительной относительной влажностью приводит к нарушению терморегуляции в организме работающих, ухудшается самочувствие [87].

Вместе с тем ограниченный объем кабин позволяет нормализовать климатические условия за счет использования кондиционирующих установок.

Оптимальные метеорологические параметры в соответствии с ГОСТом 12.1.005-76 в кабинах горного оборудования в холодный и переходный периоды года (температура наружного воздуха ниже +10 С): температура воздуха — 18 — 20°C, относительная влажность — 40 — 60 %, скорость движения — не более 0,2 м/с, а в теплый период (температура наружного воздуха +10°C и выше) соответственно 21 — 23°C, 40 — 60% и 0,3 м/с. В холодный период допустимы: температура — 17 — 23°C; относительная влажность — до 75%, скорость движения — не более 0,3 м/с, а в теплый период соответственно до 28°C, 75% и 0,3 — 0,7 м/с.

В организме человека в результате экзотермически протекающих химических реакций (реакций гидролитического распада, нейтрализации кислот и щелочей, окислительных процессов превращения фосфорных

соединений и др.) образуется первичная теплота. Вторичная теплота, возникающая только при работе, составляет большую часть теплопродукции организма (60 — 70%). При этом основным источником теплообразования является скелетная мускулатура. Общее количество теплоты меняется от 4 — 6 кДж/мин (в состоянии покоя) до 33 — 42 кДж/мин (при очень тяжелой работе).

Тепловое состояние человека существенно зависит от тяжести выполняемой работы, что связано с энергозатратами и возникновением в организме разных по мощности тепловых потоков. Величина плотности внутреннего теплового потока, направляющегося к единице площади поверхности тела, определяется КПД мышечной работы: при легкой работе — около 0,125 кВт/м², работе средней тяжести — 0,146 и тяжелой — 0,164 — 0,187 кВт/м². При этом КПД мышечной работы колеблется от 2 — 5% при легкой работе до 30 - 35% при тяжелой работе [87, 88].

Энергозатраты в зависимости от категории и характера выполняемых работ (ГОСТ 12.1.005-76) приведены ниже:

| Категория работ | Характеристика работ | Энергозатраты, Вт |
|-----------------------|---|-------------------|
| Легкая (I) | Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой, но не требующие систематического физического напряжения или поднятия и переноса тяжестей | <172 |
| Средней тяжести (IIa) | Работы, связанные с постоянной ходьбой, выполняемые стоя или сидя, но не требующие переноса тяжестей | 172 - 232 |
| Средней тяжести (IIб) | Работы, связанные с ходьбой и переносом небольших (до 10 кг) тяжестей | 232 - 293 |
| Тяжелая (III) | Работы, связанные с систематическим напряжением, в частности с постоянным передвижением и переносом значительных (свыше 10 кг) тяжестей | >293 |

Способность организма человека сохранять постоянство температуры тела (терморегуляция), несмотря на значительные изменения метеоусловий внешней среды и собственной теплопродукции, обеспечивается уравновешиванием процессов теплообразования и теплоотдачи путем конвекции, излучения и испарения.

Интенсивность непосредственной отдачи тепла с поверхности кожи менее нагретым притекающим к ней слоям воздуха (конвекции) находится в прямой зависимости от поверхности тела, скорости движения воздуха, а также разности температур кожи и окружающей среды. Отдача тепла с поверхности тела излучением происходит в направлении поверхностей с более низкой температурой. Преобладание того или иного процесса теплоотдачи зависит от температуры окружающего воздуха и ряда других условий. Так, при оптимальных метеоусловиях теплоотдача излучением

занимает первое место среди остальных путей удаления избытков тепла и составляет 43,8 — 59% по отношению к общей величине теплопотерь организма человека [88, 89]. При температуре воздуха 30°C отдача тепла испарением становится равной суммарной отдаче тепла излучением и конвекцией. В условиях же воздействия на организм высоких температур (более 36°C) основную роль в удалении избытков тепла из организма играет процесс испарения пота с поверхности кожи.

Следует иметь в виду, что при испарении главным образом с поверхности кожи и в значительно меньшей степени через дыхательные пути (10 — 20%) 1г воды организм теряет около 2,5 кДж тепла. При нормальных условиях с потом организм теряет в сутки 0,6 л жидкости. При тяжелой физической работе, если температура воздуха более 30°C, количество теряемой организмом жидкости может достичь 10 - 12 л. Интенсивное потовыделение при этом в виде капель на коже, когда пот не успевает испаряться, ведет только к потере воды и солей и препятствует отдаче тепла, что крайне отрицательно сказывается на здоровье, снижая работоспособность и производительность труда рабочих. Установлено, что если при нормальных метеоусловиях производительность труда принять за 100%, то при 25°C она снижается на 5 — 12,3%, 30°C — на 13,5 — 15,3 и 35°C — на 16 — 22,9%.

Уровень заболеваемости рабочих по сезонам года различен. Так, исследование, проведенное на Коунрадском руднике открытых работ, показало, что наиболее высокие показатели как заболеваемости, так и по потерянными дням наблюдались в зимнее и осеннее время. В январе заболеваемость по руднику составила 9,7 случаев и 83,1 дня на 100 работающих. В теплое время года (май) заболеваемость была самая низкая (2,3 случая и 20,5 дня на 100 работающих) [7, 90].

Для установления допустимых климатических нормативов, позволяющих в течение всего года трудиться с наибольшей производительностью, предложены различные методы, среди которых широко распространены Американская и Бельгийская эффективные температуры, а также кататермометрия [91].

Бельгийская эффективная температура (БЭТ), разработанная специально для шахт Бельгии и Франции, представляет собой комбинацию температур по смоченному (t_m) и сухому термометрам (t_c) психрометра, причем влияние температуры по смоченному термометру преобладает в значительной степени.

Расчет Бельгийской эффективной температуры производится по формуле

$$t_{\text{эф}} = 0,9t_m + 0,1t_c, \text{ } ^\circ\text{БЭТ}. \quad (4.2)$$

Однако этот метод не учитывает скорость движения воздуха, которая играет значительную роль в охлаждающей эффективности воздуха.

Более распространенным способом оценки условий на рабочих местах является Американская эффективная температура (АЭТ), использующая все

параметры. Для определения АЭТ пользуются номограммой (рис. 40), где в качестве верхнего предела нормальных условий установлена температура 25 АЭТ.

Следует отметить, что в ограниченных рабочих зонах (кабины горных машин) применение АЭТ не всегда возможно, поскольку не отражается с достаточной

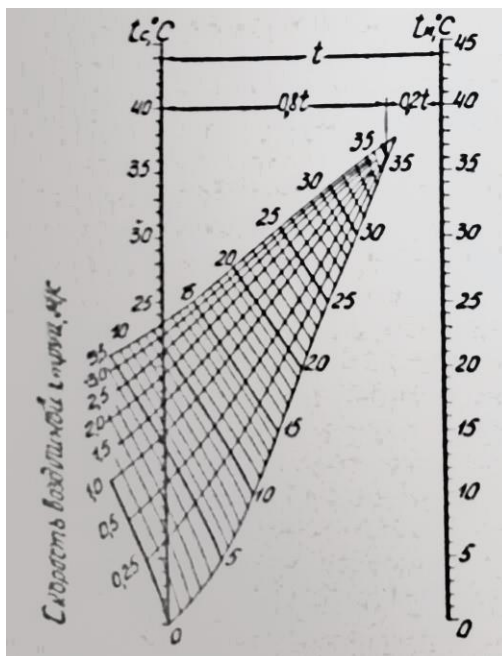


Рис. 40. Номограмма для определения Американской эффективной температуры (АЭТ)

точностью фактическое состояние микроклимата.

Наиболее достоверным методом суммарной оценки микроклимата является кататермометрия.

Широкими кататермометрическими обследованиями различных видов профессионального труда в СССР были установлены нормы комфорта, приведенные в табл. 41.

Изменение производительности труда в зависимости от тепловых условий приведено в табл. 42.

Таблица 41. Нормы комфорта в зависимости от характера работы

| Работа | По кататермометру, катаградусы | |
|---------|--------------------------------|------------|
| | сухому | смоченному |
| Легкая | 6 | 18 |
| Средняя | 8 | 25 |
| Тяжелая | 10 | 30 |

Таблица 42. Зависимость производительности труда от тепловых условий

| Показания кататермометра, катаградусы | | Производительность, % |
|---------------------------------------|------------|-----------------------|
| сухого | смоченного | |
| 1,0 | 4,0 | 50 |
| 2,0 | 6,4 | 60 |
| 4,0 | 11,2 | 80 |
| 6,0 | 16,0 | 100 |

Применение этого метода позволило установить, что при использовании воздухоочистителя в кабине бурового станка СБШ-250 наряду с эффективной очисткой от пыли и улучшением климатических условий производительность труда машинистов повышается летом на 15 и зимой на 24% (табл. 43).

Санитарные правила Чехословакии также показывают пригодность кататермометрии для оценки шахтного климата на основании катаградусов по смоченному кататермометру.

Ниже приведены субъективные ощущения рабочих и изменение производительности труда при различных значениях катаградусов по смоченному кататермометру:

| Катаградусы по смоченному кататермометру | Производительность труда, % | Ощущения | Состояние кожи |
|--|-----------------------------|------------------|------------------------------|
| 1 - 3 | 0 - 23 | Гнетущее | Мокрая |
| 4 - 6 | 23 - 46 | Душно | То же |
| 7 - 11 | 46 - 76 | Очень жарко | Влажная |
| 11 - 14 | 76 - 100 | Достаточно тепло | Влажная лишь во время работы |
| 15 - 25 | 100 | Тепло | То же |
| 26 - 35 | 100 | Холодно | Сухая |

Таблица 43. Влияние климатических условий на производительность труда при использовании воздухоочистительной установки в кабине станка СБШ-250

| Условия замера | Температура по термометру, °С | | Относительная влажность, % | Катаградусы по кататермометру | | Производительность труда, % |
|-------------------------|-------------------------------|------------|----------------------------|-------------------------------|------------|-----------------------------|
| | сухому | смоченному | | сухому | смоченному | |
| <i>Лето</i> | | | | | | |
| Без использования устан | 31,6 | 22,0 | 40 | 3,89 | 10,5 | 80 |
| новки | 31,8 | 22,6 | 43 | 3,16 | 14,0 | 70 |
| | 27,0 | 20,1 | 51 | 4,81 | 13,3 | 93 |
| | 28,4 | 19,7 | 41 | 5,65 | 12,2 | 98 |
| Среднее | 29,7 | 21,1 | 48 | 4,38 | 12,5 | 85 |
| С использованием устан | 24,3 | 18,8 | 57 | 7,3 | 19,1 | 100 |
| новки | 25,2 | 19,8 | 59 | 7,8 | 18,2 | 100 |
| | 26,1 | 20,4 | 57 | 6,5 | 20,4 | 100 |

| | | | | | | |
|--------------|------|------|----|------|-------|-----|
| Среднее | 27,6 | 20,8 | 52 | 7,3 | 18,2 | 100 |
| | 25,8 | 19,9 | 56 | 7,2 | 19,2 | 100 |
| <i>Зима</i> | | | | | | |
| Без исполъ | 26,4 | 15,5 | 26 | 4,06 | 9,9 | 73 |
| зования уста | 25,8 | 14,8 | 24 | 4,46 | 9,9 | 76 |
| новки | 24,6 | 14,4 | 27 | 4,1 | 11,0 | 82 |
| | 26,8 | 14,8 | 21 | 2,5 | 10,85 | 66 |
| Среднее | 25,9 | 14,9 | 24 | 3,8 | 10,42 | 76 |
| С исполъзо | 23,0 | 16,8 | 49 | 5,28 | 17,0 | 100 |
| ванием уста | 22,1 | 16,1 | 51 | 6,42 | 19,3 | 100 |
| новки | 21,8 | 16,3 | 54 | 6,47 | 19,55 | 100 |
| | 20,3 | 14,4 | 49 | 6,45 | 19,7 | 100 |
| Среднее | 21,8 | 15,9 | 51 | 6,15 | 18,8 | 100 |

При неблагоприятных климатических условиях необходимо сокращать рабочее время для сохранения здоровья людей.

Для правильного установления продолжительности рабочего времени в ЧССР определено эффективное время работы для различных климатических условий, в котором основным показателем является АЭТ (табл. 44).

В Бельгии центром по усовершенствованию инженеров угольных шахт также разработан метод определения эффективного рабочего времени, величина которого находится по формуле

$$T_{эф} = \frac{T_{общ}}{T_{общ}(\%)} 100\%, \text{ ч} \quad (4.3)$$

где $T_{общ}$ — общее время работы, равное сумме эффективного рабочего времени, принятого за 100%, и рабочих перерывов.

Длительность рабочих перерывов, выраженная в процентах, называется коэффициентом отдыха. Значения этого коэффициента в зависимости от трудоемкости выполняемой работы в нормальных метеоусловиях в рабочей зоне приблизительно следующие: при легкой работе, выполняемой сидя — 10%; работе средней тяжести — 20 — 24%; тяжелой работе — 32%.

Таблица 44. Продолжительность эффективного рабочего времени

| АЭТ, град | Общая продолжительность работы, ч | Эффективное рабочее время, ч |
|-----------|-----------------------------------|------------------------------|
| 22 - 28 | 8,0 | 6,0 |
| 28 - 29 | 7,5 | 5,5 |
| 29 - 30 | 7,0 | 5,0 |
| 30 - 31 | 7,0 | 5,0 |
| 31 - 32 | 6,0 | 5,0 |
| 32 - 33 | 5,0 | 4,0 |
| 33 - 34 | 3,0 | 2,0 |
| 34 - 35 | 2,0 | 1,0 |

При неблагоприятных метеоусловиях коэффициент отдыха увеличивается умножением на корректировочный множитель k_o , значения которого в зависимости от величины АЭТ приведены ниже:

| | | | | | | | | |
|------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|
| АЭТ (град) | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 |
| k_o (%) | 0 | 15 | 30 | 50 | 75 | 110 | 175 | 300 |

В нашей стране для рабочих угольной промышленности предложена методика определения необходимого времени отдыха, величина которой позволила бы поддерживать напряжение физиологических функций организма (табл. 45) на оптимальном уровне [88]. При этом у горнорабочих, отобранных в случайном порядке, в состоянии относительного покоя (после 15 мин отдыха) определяют исходные уровни частоты пульса, легочной вентиляции, максимального артериального давления. Затем они выполняют две 20-минутные работы непрерывно, в обычном темпе.

Динамика физиологических сдвигов у разных рабочих, связанных с тем или иным рабочим процессом (операцией), имеет индивидуальные колебания. Так, при управлении породопогрузочной машиной (работа средней тяжести) она колеблется в пределах от 2 до 5 мин, при ручной погрузке породы (работа тяжелая) от 6 до 12 мин. В первом случае среднее значение времени отдыха составляет 3,4 мин, во втором — 9 мин.

Продолжительность общего времени отдыха, необходимого для выполнения полного объема работы при управлении породопогрузочной

машиной, составит 14% $\left(\frac{3,4}{20 + 3,4} \cdot 100\%\right)$ рабочего времени, при ручной погрузке породы — 31% $\left(\frac{9}{20 + 9} \cdot 100\%\right)$. Аналогично определяют время отдыха при выполнении других горных работ.

Таблица 45. Классификация тяжести труда по показателям функционального напряжения

| Категории тяжести труда | Частота пульса, уд. /мин | Минутный объем дыхания, л | Энергозатраты, Вт |
|-------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| I (легкая) | ≤ 84 | $\leq 11,3$ | ≤ 175 |
| II (средней тяжести) | 85 - 99 | 11,4 - 18,9 | 176 - 290 |
| III (тяжелая) | 100 - 119 | 19,0 - 27,3 | 291 - 419 |
| IV (очень тяжелая) | ≥ 120 | $\geq 27,4$ | ≥ 420 |

В целях дальнейшего совершенствования этой методики была предложена зависимость физиологической потребности в отдыхе от тяжести выполняемого рабочего процесса [88]:

$$k_{\phi} = 0,24 \exp 0,044 P_s, \quad (4.4)$$

где k_{ϕ} – коэффициент физиологически обоснованного отдыха; P_s – рабочая частота сердечных сокращений, уд. /мин.

Следует отметить, что западногерманская Ассоциация по изучению проблем труда (РЕФА) рекомендует определять продолжительность необходимого отдыха исходя из максимально допустимых затрат энергии — 291 Вт (4,17 ккал/мин), хотя считать эту величину расхода энергии обоснованной нельзя. Время отдыха вычисляют по формуле

$$T_0 = \frac{\text{Фактический расход энергии в минуту}}{4,17 \text{ ккал/мин}} - 1, \quad (4.5)$$

Этот метод лучше других, эмпирически установленных для определения времени на отдых, но базируется он только на энергозатратах, что ограничивает сферу его применения.

Вопросы нормализации климатических условий на рабочих местах и соответственно повышение производительности труда тесно связано с тепловым состоянием воздуха.

В кабинах буровых станков при работе воздухоочистителя изменение теплового состояния воздуха в зависимости от его температуры по сухому и смоченному термометрам (t_c и t_m), точки росы (t_p) и температуры распыляемой воды (t_b) может быть самым различным.

Возможные случаи тепло- и влагообмена между воздухом и диспергированными каплями воды в зависимости от их температуры:

| Условия, необходимые для возникновения процесса кондиционирования | Температура | Влагодержание | Теплосодержание |
|---|-------------|---------------|-----------------|
| 1. $t_b < t_p$ | Охлаждение | Осушение | Понижение |
| 2. $t_b = t_p$ | То же | Нет изменений | То же |
| 3. $t_m > t_b > t_p$ | » | Увлажнение | » |
| 4. $t_b \approx t_m$ | » | То же | Нет изменений |
| 5. $t_c > t_b > t_m$ | » | » | Повышение |
| | Нет | | |
| 6. $t_c = t_b > t_m$ | изменений | » | То же |
| 7. $t_b > t_c$ | Нагревание | » | » |

Оптимальными условиями для кондиционирования воздуха, поступающего в кабину бурового станка при работе воздухоочистительной установки, являются 4 - 7.

Необходимо отметить, что процессы тепло- и влагообмена для $t_b > t_c$ возможны при низких температурах воздуха. При этом температура воды равна 38 — 40°C из-за постоянного её нагрева в зимнее время во избежание замерзания при бурении скважин с подачей смеси.

Эффективность кондиционирования в воздухоочистительной установке значительно повышается за счет дополнительного контакта обрабатываемого воздуха с пузырьками воды при его прохождении через смоченный фильтр.

4.2 ИОНИЗАЦИЯ ВОЗДУХА

Для создания нормальных атмосферных условий на рабочих местах необходимо предусматривать кроме снижения запыленности до санитарных норм и обеспечения оптимальных величин по температуре и влажности необходимую степень ионизации воздуха, имеющую важное физиологическое значение для жизнедеятельности человека.

Наблюдениями установлена тесная связь между электрическим состоянием воздуха, числом, полярностью аэроионов и состоянием здоровья работающих. Общее самочувствие, внимание, трудоспособность, функциональное состояние нервной системы, болезненные ощущения, кровяное давление, обострение многих заболеваний находятся в прямой зависимости от концентрации и полярности ионов. Наиболее благотворное влияние на организм человека оказывают легкие отрицательные аэроионы. Доказано, что аэроионы, проникая в кровь через дыхательные пути, влияют на её физико-химические свойства и таким образом на все ткани и органы, в том числе и на корковые нейроны и нервные центры [92, 93].

В зависимости от подвижности аэроионов, т.е. приобретенной скорости движения в электрическом поле напряженностью в 1 В на 1 см, различают легкие, средние, тяжелые ионы Ланжевена и сверхтяжелые ионы, концентрация которых зависит от метеорологических геофизических условий, времени года и многих других факторов.

Легкие аэроионы с подвижностью больше $1 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ состоят из группы молекул (порядка 10 — 15), несущих один элементарный заряд. Концентрация их в кубическом сантиметре чистого воздуха в среднем составляет 1 000 — 1 500 пар ионов.

Природа средних ионов с подвижностью от 1 до $1 \cdot 10^{-2} \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ точно ещё не выяснена. Считают, что их существование возможно только при определенной влажности воздуха.

Тяжелые и остальные ионы образуются в результате оседания легких ионов на витающие в воздухе различные частицы пыли, капли тумана и т.д. Подвижность их приблизительно равна $(0,02 — 1,0) \cdot 10^{-2} \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$, а концентрация в загрязненном воздухе может достигать 25 тыс. пар в 1 см^3 .

Вместе с тем такое разделение аэроионов до некоторой степени условно, так как можно встретить ионы и промежуточных подвижностей.

Понятие о размерах тех или иных ионов в сопоставлении с размерами других частиц, встречающихся в воздухе, дают следующие данные [92]:

| | |
|------------------|-----------------------|
| Молекулы | 10^{-10} м |
| Легкие аэроионы | 10^{-9} м |
| Средние аэроионы | 10^{-8} м |
| Тяжелые аэроионы | 10^{-7} м |
| Частицы тумана | $10^{-6} — 10^{-5}$ м |
| Дождевые капли | $10^{-4} — 10^{-3}$ м |

ГОСТ 12.0.003 устанавливает санитарно-гигиенические нормы количества легких ионов обеих полярностей во вдыхаемом воздухе производственных помещений и показатель полярности (табл. 46), который определяется по формуле

$$\Pi = \frac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-}, \quad (4.6)$$

где n^+ и n^- — концентрации ионов положительной и отрицательной полярности, ион/см³.

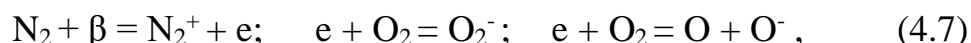
Таблица 46. Санитарно-гигиенические нормы концентрации легких ионов в 1 см³ воздуха

| Уровень | Положительный | Отрицательный | Π |
|------------------------|---------------|---------------|------------------|
| Минимально необходимый | 400 | 600 | -0,2 |
| Оптимальный | 1 500 – 3 000 | 3 000 – 5 000 | -0,5 - 0 |
| Максимально допустимый | 50 000 | 50 000 | (-0,05) - (0,05) |

Основными источниками ионизации воздуха являются радиоактивные вещества почвы, электрические разряды, баллоэлектрический эффект, пламя, многообразные химические реакции, выделение ионов раскаленными металлами и т.д.

Возникновение положительных и отрицательных ионов в воздухе под действием ионизирующих излучений, в первую очередь β частиц, с современных научных позиций можно трактовать следующим образом: положительные аэроионы (ионы азота) образуются при отрыве электрона от нейтральной молекулы, отрицательные (ионы кислорода) — присоединением этого электрона к другой нейтральной молекуле. Механизм образования аэроионов этом случае показан на рис. 41.

Процесс ионизации воздуха можно записать в виде



Следует отметить, что наиболее достоверным является образование при захвате электрона молекулой кислорода именно атомарного иона O^- , который обнаружен экспериментально. Однако при некоторых условиях возможно образование и O_2^- .

В дальнейшем эти ионы связываются с дипольными молекулами воды в воздухе, которые группируются вокруг ионов соответственно величине и знаку их заряда и своей полярности. При этом молекулы воды сосредоточиваются в меньшем количестве у отрицательного атомарного иона кислорода и в большем — у молекулярного положительного иона азота из-за более стационарного поля его ядра. Такого рода распределение молекул воды в виде оболочки у аэроионов оказывает влияние на их подвижность. Подвижность отрицательных аэроионов больше, чем положительных, что объясняется также большей скоростью передвижения, которую они приобретают в момент отрыва электронов от молекул. Средние значения подвижности легких ионов в сухом воздухе при комнатной температуре и нормальном давлении для положительных ионов — $1,35 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$ и для отрицательных — $1,83 \text{ см}^2/\text{В}\cdot\text{с}$.

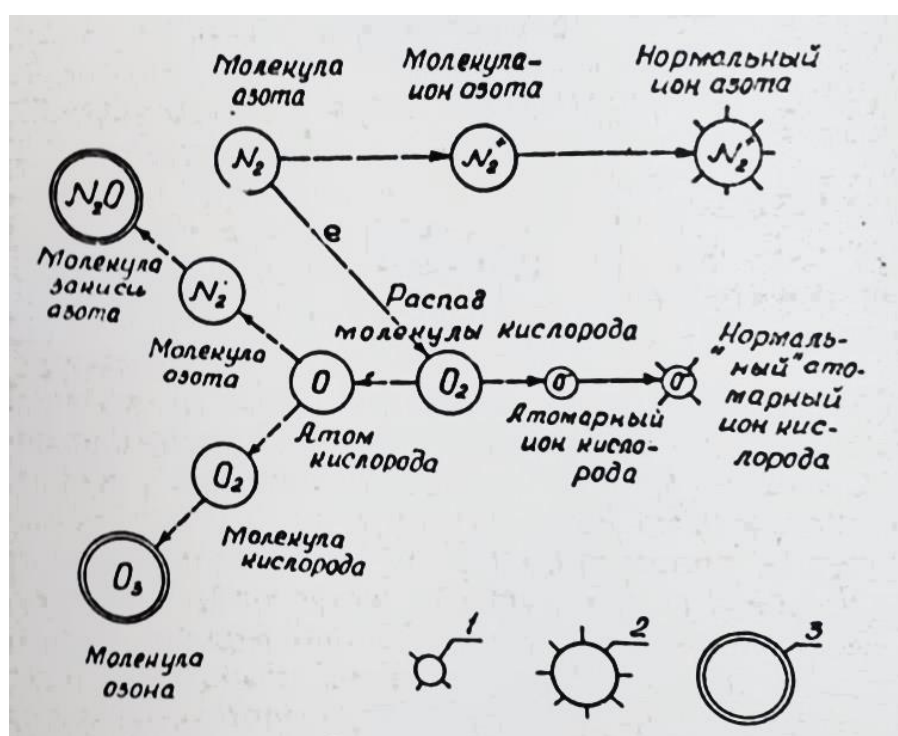


Рис. 41. Аэроионизация под действием радиоактивных веществ:
1 — легкие; 2 — средние и 3 — тяжелые аэроионы

Образование ионов сопровождается непрерывным их исчезновением ввиду рекомбинации двух ионов разной полярности, адсорбции ионов на незаряженных ядрах конденсации и других причин.

Средняя продолжительность существования легких аэроионов в наиболее благоприятных условиях не превышает 20 мин, а обычно измеряется несколькими десятками секунд.

В настоящее время на горнорудных предприятиях для улавливания силикозоопасной пыли успешно применяются нетканые синтетические материалы, особенно иглопробивные, как более надежные и экономически целесообразные. Они отличаются низким сопротивлением, повышенной

пылеёмкостью (200 — 300 г/м² при скорости фильтрации 0,28 м/с) и невысокой стоимостью. Влагеёмкость синтетических фильтров не превышает 0,2 — 0,5%. Эффективность улавливания пыли размером менее 5 мкм находится в пределах 75 — 85% в начальный момент фильтрации и возрастает по мере образования пылевого слоя внутри фильтра, что позволяет снижать запыленность очищаемого воздуха с 3 — 4 до 0,6 мг/м³ [93].

Однако при прохождении воздуха через волокнистые фильтры резко падает содержание аэроионов. Поэтому исследование изменения ионного состава воздуха при использовании различных фильтрующих материалов имеет большое научное и практическое значение.

Таблица 47. Изменение концентрации легких аэроионов при прохождении воздуха через фильтрующие материалы

| Фильтрующий материал | Среднее значение числа ионов | | П |
|----------------------|------------------------------|---------------|------------|
| | положительных | отрицательных | |
| «Лавсан-2400» | 2 003/ 210 | 1 757/ 160 | 0,07/ 0,14 |
| «Лавсан-3000» | 2 008/150 | 1 768/ 135 | 0,06/ 0,05 |
| «Лавсан-6000» | 2 008/ 124 | 1 760/ 89 | 0,07/ 0,16 |
| ШБ-1 «Лепесток-40» | 2 008/ 181 | 1 778/ 106 | 0,06/ 0,29 |
| Ф-62Ш | 2 022/ 106 | 1 758/ 83 | 0,07/ 0,12 |
| Ф-46к | 2 009/ 252 | 1 755/ 167 | 0,07/ 0,2 |

Примечание. В числителе — до, в знаменателе — после фильтрации воздуха.

Для оценки ионопроточной способности фильтров были испытаны образцы нетканых синтетических материалов «Лавсан-2400», «Лавсан-3000» и «Лавсан-6000», а также фильтрующие элементы отечественных респираторов ШБ-1 «Лепесток-40», Ф-62Ш (материал — ФП), У-2к (материал двухслойной — из ФП и пенополиуретана) и Ф-46к (материал — картон). Результаты испытаний приведены в табл. 47, из которой видно, что после фильтрации воздуха резко сокращается первоначальное число аэроионов [94].

Основные характеристики исследованных респираторов представлены в табл. 48.

Ионный состав воздуха после фильтрации через противопылевые респираторы показан на рис. 42.

Оценить ионопроточную способность фильтров можно по формуле

$$\eta = \frac{n_k}{n_n} 100\% \quad (4.8)$$

где n_n и n_k — начальное и конечное содержание аэроионов, ион/см³.

Таблица 48. Основные характеристики противопылевых респираторов

| Респиратор | Сопротивление при нагрузке 30 дм ³ /мин, Н/м ² | | Эффективность улавливания кварцсодержащей пыли размером менее 1 мкм, % | Условие применения |
|-----------------------|--|-------|--|---|
| | вдох | выдох | | |
| ШБ-1 «Лепесток-40» | 11,8 | 11,8 | 0,98 | При содержании высокодисперсных частиц до 40 ПДК и грубодисперсных до 200 ПДК |
| Ф-62Ш | 39,3 | 36,3 | 0,1 | При запыленности воздуха до 2000 мг/м ³ |
| У-2к | 75,5 | 39,3 | 0,77 | То же |
| Ф-46к | 49,0 | 49,0 | 0,9 | |

Для ионизации воздуха в целях оздоровления условий труда, профилактики и лечения ряда заболеваний применяются разнообразные генераторы ионов или аэроионизаторы.

Одним из эффективных способов ионизации очищенного воздуха при использовании фильтрующих материалов является баллоэлектрический эффект, возникающий при распылении воды.

Вода — кооперативная система и в ней существуют цепные образования водородных связей (рис.43). Прочность этих связей значительно меньше химических. Так, на разрыв водородной связи затрачивается 21 — 29 кДж/моль, тогда как на разрыв обычной валентной — 125 — 420 кДж/моль. Поэтому водородная связь легче разрушается и быстрее восстанавливается, что делает структуру воды исключительно изменчивой.

Следует отметить, что водородные связи очень распространены и при их возникновении в растворах или в чистом веществе происходит изменение многих физических и химических свойств: массы, размеров, формы частиц, расположения отдельных атомов в них и электронной структуры функциональных групп. Часто при образовании водородных связей наблюдается колебание температур плавления и кипения, растворимости, диэлектрических свойств и электропроводимости, отклонение от законов идеальных растворов, смещение сигнала протонного магнитного резонанса [75, 77].

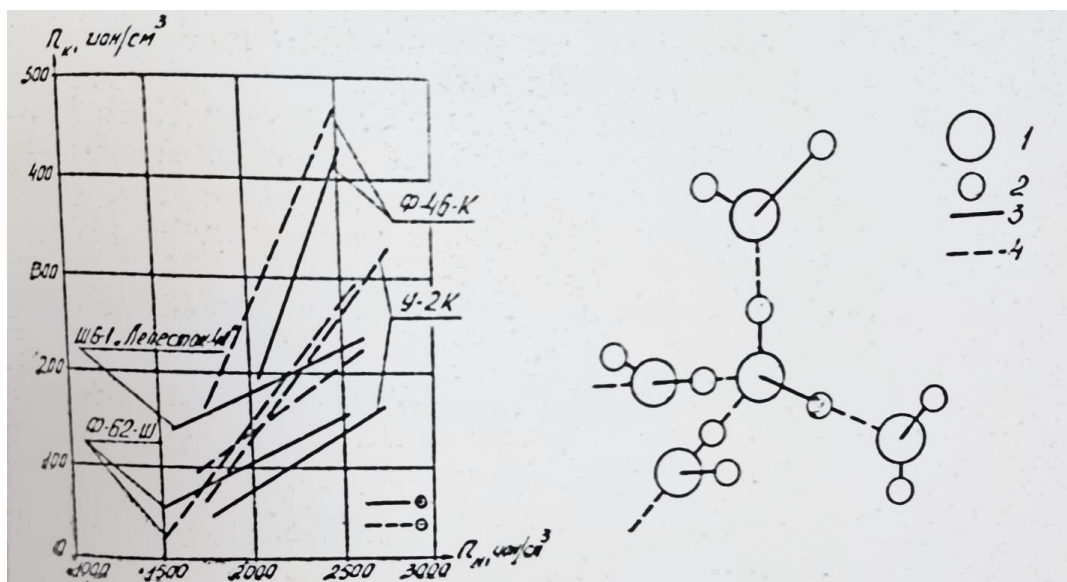


Рис. 42. Концентрация легких аэроионов до и после фильтрации воздуха через противопылевые респираторы

Рис. 43. Схема водородных связей между молекулами воды:
1 — кислород; 2 — водород; 3 — химические и 4 — водородные связи

При разрыве водородных связей за счет давления или удара из двух нейтральных молекул воды могут образоваться две заряженные частицы — ионы: гидроксил (OH^-) и гидроксоний (OH_3^+). Этот процесс можно выразить следующей формулой диссоциации [95]:



При этом может иметь место образование иона атомарного кислорода O^- путем взаимодействия электронов, выделяющихся из воды, с молекулами кислорода воздуха.

Необходимо отметить, что молекула воды представляет собой тетраэдр и имеет десять электронов, два из которых движутся вблизи ядра по кругу, а остальные — по четырем вытянутым эллиптическим орбитам (рис. 44, а). Две наиболее вытянутые орбиты охватывают два протона, а две другие, так называемые уединенные пары, находятся на менее вытянутых орбитах, плоскость которых перпендикулярна к плоскости протонов и кислородного ядра.

Такая конфигурация орбит электронов приводит к полному экранированию восьми положительных зарядов кислородного ядра и к неполному двух протонов. Кроме того, две уединенные пары электронов создают повышенную электронную плотность. Получаются тетраэдрическое распределение двух положительных и двух отрицательных зарядов в виде четырех полюсов на поверхности молекулы воды и результирующий, довольно значительный дипольный момент.

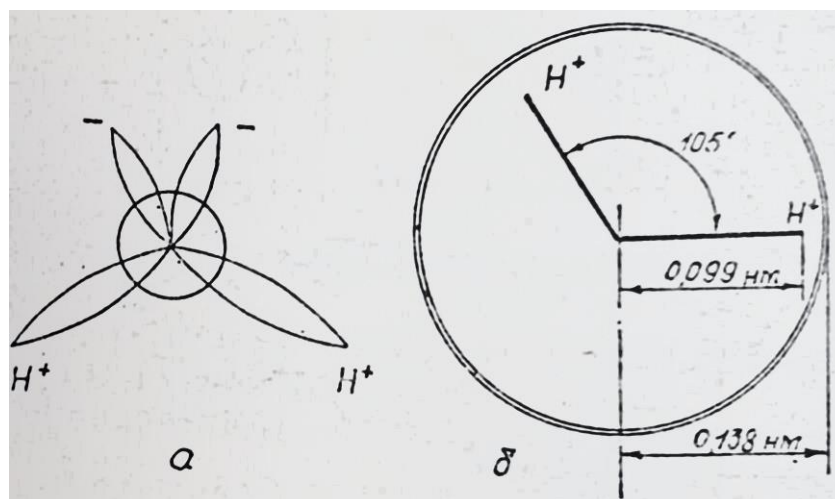


Рис. 44. Модели молекулы воды: а — пространственная (распределение зарядов и электронная конфигурация); б — плоскостная

При соприкосновении противоположно заряженных полюсов молекул воды создается структура из одной центральной и четырех тетраэдрически расположенных периферических молекул (центры периферических молекул распределены по углам большого тетраэдра). Это образование из пяти молекул с координационным числом 4 является одним из структурных элементов, из которых при умеренном давлении строится гексагональная кристаллическая структура льда [77, 96].

На рис. 44, б изображена плоскостная модель молекулы воды, в которой протоны находятся на расстоянии 0,099 нм от атома кислорода, а угол между направлениями связей кислород — водород составляет 105° . Радиус молекулы равен 0,138 нм [75, 77, 79].

Особенностью внутреннего строения молекулы воды является несимметричное расположение атомов водорода относительно атома кислорода. При этом небольшие по сравнению с атомом кислорода размеры атома водорода позволяют ему углубиться в сферу оболочек атома кислорода, вследствие чего возникает следующее распределение электрических зарядов в молекуле:



Согласно работе [63], на поверхности воды ионы OH^- направлены наружу, а ионы H^+ — внутрь жидкости и при диспергировании капель в момент разрушения плёнки на границе раздела вода — воздух появляется потенциал. Ориентированные диполи создают поверхностное электрическое поле и подвижный двойной электрический слой, который приводит к электризации капель жидкости при её разбрызгивании, т.е. возникает баллоэлектрический эффект. Под действием электрического поля находящиеся в жидкости ионы притягиваются положительными полюсами диполей, образуя отрицательно заряженную обкладку двойного электрического слоя. Вторая обкладка двойного слоя создается катионами,

экранирующими заряд ионов. С поверхностью раздела катионы имеют связь и могут свободно двигаться в жидкости, образуя подвижную (диффузионную) обкладку двойного слоя.

Таблица 49. Концентрация легких ионов при различном давлении воды [95]

| Давление, 10^{-1} МПа | Концентрация легких ионов, 10^3 ион/см ³ | |
|----------------------------|---|---------------|
| | отрицательных | положительных |
| 0,5 | 15 - 20 | 3 - 4 |
| 1,0 | 30 - 40 | 6 - 8 |
| 1,5 | 60 - 80 | 12 - 16 |
| 2,0 | 90 - 120 | 18 - 20 |

Примечание. П изменяется от — 0,71 до — 0,66.

При баллоэлектрическом эффекте за счет распада ассоциированных молекул воды прежде всего генерируются легкие ионы, средние значения концентрации которых в зависимости от давления и температуры воды приведены в табл. 49 и 50.

Анализ экспериментальных данных таблиц показывает, что концентрация ионов растет с повышением давления воды, а показатель полярности остается постоянным, тогда как с увеличением температуры воды, несмотря на рост количества ионов, он уменьшается.

Электрический заряд капли при распылении воды можно определить по формуле [63]:

$$q_k = 2\pi\epsilon\epsilon_0 U d_k, \quad (4.11)$$

где U — разность потенциалов ориентированных диполей.

Как уже отмечалось, естественный электрический заряд капель зависит от их среднего размера, химических свойств и давления жидкости и конструктивных особенностей оросителей.

Так, при использовании растворов неионогенных ПАВ напряженность электрического поля водного аэрозоля повышается в 4 раза [63].

Рассматривая ионизацию воздуха при механическом дроблении воды с биологической точки зрения, необходимо отметить, что образующиеся ионы благодаря различной величине, физико-химической природе и структуре по-разному могут быть восприняты организмом при их вдыхании.

Легкие ионы проходят наиболее глубоко, до альвеол легких людей. Глубина проникновения средних и тяжелых зависит от их размеров: чем крупнее ионы, тем она меньше.

Таблица 50. Концентрация ионов при диспергировании воды в зависимости от её температуры (10^3 ион/см³)

| Температура воды, °С | Легкие ионы | | П | Тяжелые ионы | |
|----------------------|---------------|---------------|-------|---------------|---------------|
| | положительные | отрицательные | | положительные | отрицательные |
| 17 | 115 | 456 | -0,60 | 31 | 76 |
| 25 | 114 | 610 | -0,69 | 50 | 125 |
| 35 | 120 | 685 | -0,70 | 100 | 340 |
| 45 | 140 | 800 | -0,70 | 220 | 680 |
| 55 | 152 | 1 100 | -0,76 | 190 | 1 000 |

Примечание. Расстояние от источника ионов 20 см.

Зависимости содержания ионов профильтрованного через нетканые синтетические материалы воздуха от температуры его нагрева в случаях предварительного применения распыленной воды и без воды приведены на рис. 45.

Из рисунка видно, что с повышением температуры воздуха концентрация легких ионов возрастает, а тяжелых убывает.

Математическая связь между ионосодержанием и температурой профильтрованного воздуха выражается формулой

$$n_t = k_{и}t + c_{и}, \quad (4.12)$$

где $k_{и}$ — размерный коэффициент, ион/см³•°С; t — температура воздуха °С; $c_{и}$ — величина, зависящая от средних значений концентраций аэроионов и температуры воздуха, ион/см³.

Значения $k_{и}$ и $c_{и}$ для легких ионов в зависимости от способа фильтрации воздуха:

| Способ фильтрации | Положительные ионы | | Отрицательные ионы | |
|-----------------------------------|--------------------|---------|--------------------|---------|
| | $k_{и}$ | $c_{и}$ | $k_{и}$ | $c_{и}$ |
| Без воды | 1,8 | -7 | 1,23 | 7 |
| С предварительной дисперсией воды | 30,5 | 485 | 30,8 | 1 087 |

В табл. 51 приведены результаты исследований концентрации ионов в кабинах буровых станков при работе воздухоочистителя.

В среднем концентрация легких ионов в одном кубическом сантиметре воздуха при использовании воздухоочистителя составляет 1 086 пар, а тяжелых — 5 620 пар. При этом наличие тяжелых аэроионов обусловлено молекулами воды и неуловленными частицами пыли, тогда как при отсутствии установки — только пылевыми частицами.

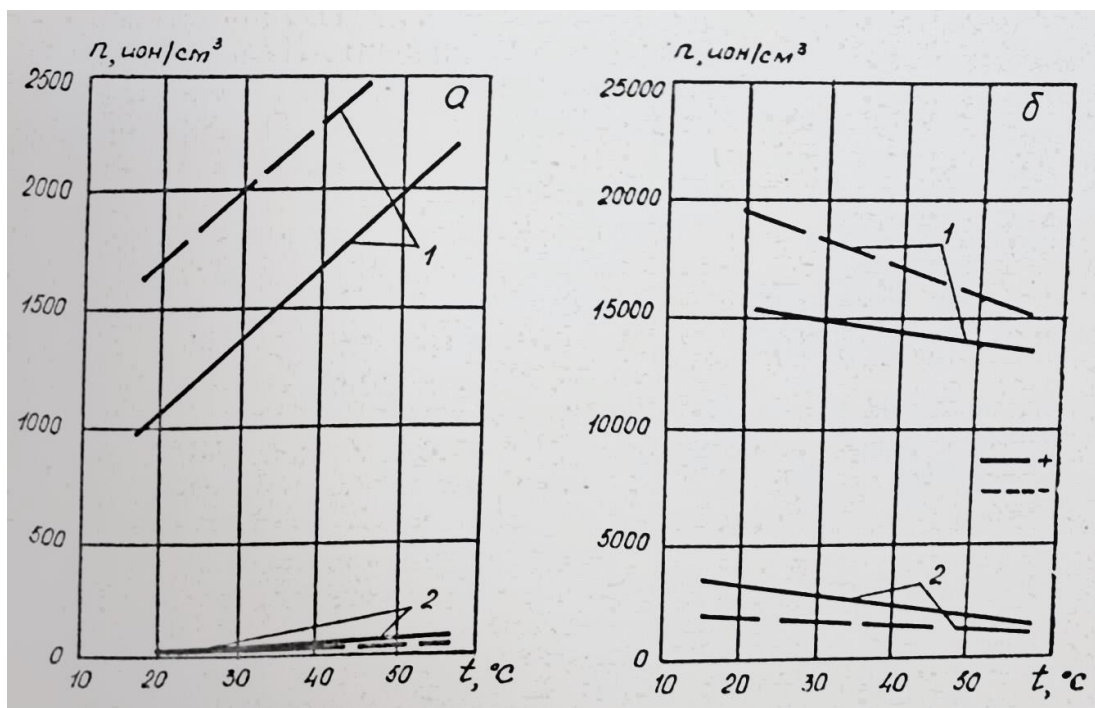


Рис. 45. Зависимость содержания легких (а) и тяжелых (б) ионов от температуры нагрева воздуха при фильтрации его через нетканый синтетический материал с предварительным применением распыленной воды (1) и без воды (2)

Таблица 51. Изменение ионного состава воздуха кабины бурового станка СБШ-250 при использовании воздухоочистительной установки

| Условия замера в кабине | Легкие аэроионы, ион/см ³ | | П | Тяжелые аэроионы, ион/см ³ | |
|-------------------------|--------------------------------------|---------------|-------|---------------------------------------|---------------|
| | положительные | отрицательные | | положительные | отрицательные |
| Без установки | 154 | 115 | 0,14 | 20 738 | 21 625 |
| | 172 | 123 | 0,17 | 21 218 | 22 315 |
| | 168 | 114 | 0,19 | 25 705 | 22 054 |
| | 192 | 135 | 0,17 | 22 125 | 21 511 |
| | 131 | 118 | 0,05 | 23 611 | 19 085 |
| С установкой | 864 | 1 235 | -0,17 | 3 780 | 6 460 |
| | 1 005 | 1 293 | -0,13 | 4 320 | 7 460 |
| | 974 | 1 231 | -0,12 | 5 150 | 6 920 |
| | 1 013 | 1 306 | -0,13 | 4 780 | 6 205 |
| | 798 | 1 281 | -0,23 | 5 035 | 6 090 |

Таким образом, применение установки в кабине наряду с очисткой воздуха от пыли и нормализацией климатических параметров обеспечивает необходимую концентрацию легких ионов обеих полярностей и требуемый показатель полярности. Дальнейшее повышение степени ионизации очищенного воздуха можно достичь электризацией капель [67].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Высокий темп развития горнорудной промышленности стал возможным благодаря механизации производственных процессов на основе внедрения высокопроизводительного технологического, погрузочного и транспортного оборудования. При этом помимо удешевления стоимости добычи руды происходит одновременно сокращение количества обслуживающего персонала, что позволяет в конечном счете снизить численность рабочих на участках с неблагоприятными условиями труда.

Однако в связи с ростом объемов добываемого сырья атмосферные условия на рабочих местах характеризуются повышенной запыленностью, во много раз превышающей предельно допустимые концентрации. Особенно значительное пылеобразование и распространение пыли в окружающую среду происходит на перегрузочных пунктах ленточных конвейеров (удельный вес выделения пыли составляет 90%). Уменьшить выход тонких фракций пыли можно изменением физико-химических свойств разрушаемой массы (крепости, влажности, дробимости и т.д.) за счет воздействия растворов специальных веществ, в том числе ПАВ.

Высокая эффективность пылеподавления достигается также при использовании таких способов, как орошение водой и специальными жидкостями в различных режимах, пылеотсоса, действующего на основе гидравлической энергии диспергируемой жидкости, вентиляции с частичной рециркуляцией.

Важным аспектом борьбы с пылью является разработка новых ПАВ, способных резко подавить тонкие фракции.

Всесоюзный научно-исследовательский и проектный институт поверхностно-активных веществ (ВНИИПАВ) совместно с ИГД им. А. А. Скочинского, а также МакНИИ и другими институтами получили эффективные пенообразователи типа «Углепен». Жидкий пенообразователь содержит в качестве поверхностно-активной основы смесь первичных алкилсульфатов фракции C_{10} — C_{13} и алкилсульфоната натрия или оксиэтилированных спиртов, а также гексаметафосфат натрия и глицерин. Недостатками данного пенообразователя являются наличие большого количества специальной тары для хранения и транспортирования; возможность расслоения и даже частичного гидролиза в процессе длительного хранения и сложности его использования при отрицательных температурах. Поэтому предложены твердые пенообразователи «Углепен-1», «Углепен-Т» и др. Так, «Углепен-Т» выпускается в форме гранул, фасуемых в мешках по 200 кг. Он не гигроскопичен, не слеживается, без запаха, нетоксичен, биологически мягкий. Смачивающая способность этих пенообразователей в 2 раза и более выше, чем жидкого.

Применение твердых пенообразователей заметно упростило технологию пенного способа пылеподавления, снизило эксплуатационные и организационные затраты. При этом эффективность подавления частиц пыли на шахтах Донбасса составила 85 — 95% [97].

Перспективными направлениями интенсификации пылеподавления пеной может быть термическая активация растворов ПАВ, применение высокой частоты и др.

Серьезного внимания наряду с обеспыливанием рудничной атмосферы заслуживают и вопросы улучшения метеоусловий на рабочем месте, которые оказывают ощутимое влияние на здоровье человека и его трудоспособность.

Следует отметить, что производительность труда начинает понижаться при температуре выше 27°C по мокрому термометру для районов с умеренным климатом и выше 30°C — с жарким.

Самая высокая температура, переносимая организмом в совершенно сухом воздухе, равняется 60°C , затем начинается свертывание белка в крови и тканях. Наибольшая температура по мокрому термометру, которую может переносить человек, равна 35°C , что ниже температуры человеческого тела и позволяет осуществлять теплоотдачу в окружающую среду при охлаждении кожи.

В связи с этим эффективным средством улучшения климатических параметров атмосферы, особенно в кабинах горных машин, является кондиционирование воздуха [98].

Вместе с тем горнорудные предприятия должны быть не только социально, но и экономически заинтересованы в оздоровлении условий труда. Экономические последствия нарушений гигиенических нормативов только по четырем ведущим министерствам страны оцениваются в 54,4 млн руб. в год (в среднем за 1984 — 1986 гг.). При этом 46,8% всего ущерба приходится на профзаболевания рабочих Минуглепрома СССР, 27,6% — Минцветмета СССР, 17,2% — Минчермета СССР и 8,4% — Минстройматериалов СССР. Экономические потери от заболеваний пневмокониозом, пылевым бронхитом среди рабочих названных ведомств составили 58,2% общего ущерба.

Углубленный ориентировочный расчет величин экономических потерь от повышенной заболеваемости промышленных рабочих с временной утратой трудоспособности, связанной с неблагоприятными условиями труда, показал, что он может составлять более 200 млрд руб. в год [79]. Таким образом, мероприятия по оздоровлению атмосферы на промышленных предприятиях рентабельны с точки зрения народного хозяйства, и эти резервы должны сыграть свою роль в период радикальных экономических преобразований в стране.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ревазов М. А., Певзнер М. Е., Матанцев В. И. Охрана природы. М., 1986. 165 с.
2. Зырянов А. Г. Охрана труда и техника безопасности на зарубежных рудниках. М., 1985. Вып. 2. 60 с.
3. Ищук И. Г., Карогодин Л. Н. Опыт организации пылевого контроля на шахтах ФРГ, Великобритании и Франции: Обзор / ЦНИЭИуголь. М., 1985. 36с.
4. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности / Под ред. А. С. Кузьмича. М., 1982. 240 с.
5. Янов А. П. и др. Борьба с пылью и вредными газами в железнорудных шахтах / Под ред. А. П. Янова. М., 1984. 228 с.
6. Аникеев В. А., Копп И. З., Скалкин Ф. В. Технологические аспекты охраны окружающей среды. Л., 1982. 255 с.
7. Алимжанов К. К., Кувалдина И. С. Организационно-экономические резервы повышения эффективности производства горнорудных предприятий черной и цветной металлургии Казахстана. Алма-Ата, 1987. 61 с.
8. Калмыков А. В., Журбинский Л. Ф. Борьба с пылью и шумом на обогатительных фабриках. М., 1984. 222 с.
9. Муравьева К. А. Человек и атмосфера. Л., 1974. 48 с.
10. Ушаков К. З., Михайлов В. А. Аэрология карьеров. М., 1985. 272 с.
11. Шефтель В. О. Полимерные материалы. Токсичные свойства. Л., 1982. 174 с.
12. Чулаков П. Ч. Теория и практика обеспыливания атмосферы карьеров. М., 1973. 160 с.
13. Кадырбаев Э. Р., Сергеев В. С. Проветривание глубоких карьеров: Обзор. М., 1986. Вып. 2. 36 с.
14. Журавлев В. К. Электрофизические способы очистки отходящих газов. Алма-Ата, 1985. 72 с.
15. Мазус М. Г., Мальгин А. Д., Моргулис М. Л. Фильтры для улавливания промышленных пылей. М., 1985. 240 с.
16. Дюсебаев М. К. и др. Исследование физико-химических свойств промышленных пылей в связи с проблемами пылеулавливания. Библиогр. указ. Деп. в ВИНТИ. М., 1986. № 4 (174). С. 179.
17. Коузов Н. А., Скрябина Л. Я. Методы определения физико-химических свойств промышленных пылей. Л., 1983. 143 с.
18. Дюсебаев М. К., Генбач А. А., Санатова Т. С. Исследование аутогезионных свойств дисперсных частиц: Тез. докл. V-й Всесоюзной конференции «Аэрозоли и их применение в народном хозяйстве». М., 1987. Т. 1. С. 30.
19. Борман Н. Ф. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых. М., 1976. 316 с.
20. Руденко К. Г., Калмыков А. В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. М., 1971. 352 с.
21. Степанов В. В., Сагимбаева Г. М., Сейдалиев А. С. Проблемы защиты воздушного бассейна открытых разработок и способы его нормализации. Алма-Ата, 1987. 52 с.
22. Бобровников Н. А. Защита окружающей среды от пыли на транспорте (при погрузочно-разгрузочных работах). М., 1984. 72 с.
23. Ужов В. Н. Вальдберг А. Ю. Подготовка промышленных газов к очистке. М., 1975. 216 с.
24. Ужов В. Н. и др. Очистка промышленных газов от пыли. М., 1981. 392 с.
25. Лукин В. Д., Курочкина М. И. Очистка вентиляционных выбросов в химической промышленности. Л., 1980. 232 с.

26. Дюсебаев М. К. Изыскание эффективного способа оздоровления атмосферы в кабинах станков шарошечного бурения: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Алма-Ата, 1973. 18 с.
27. А. с. 407057 СССР. Фильтр тонкой очистки для установок кондиционирования воздуха на буровых станках / Чулаков П. Ч., Байтасов У. Б., Дюсебаев М. К. и др. Оpubл., в Б. и., 1973. № 46.
28. Левич В. Г. Физико-химическая гидродинамика. М., 1959. 670 с.
29. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М., 1955. 352 с.
30. А. с. 971476 СССР. Электрофильтр / Дюсебаев М. К., Журавлев В. К., Пенкин Л. А. Оpubл. в Б. и., 1982. № 41.
31. А. с. 1270367 СССР. Устройство для улавливания пыли / Дюсебаев М. К., Балабатыров С. Б., Султанбаев К. Ш. Оpubл. в Б. и., 1986. № 42.
32. Цыцура А. А. Термодинамический подход к решению задачи гетерокоагуляции пыли диспергированными жидкостями. Исследование и разработка способов и средств борьбы с дисперсными системами, загрязняющими окружающую среду. Караганда, 1987. С. 3 — 11.
33. Петрухин П. М. и др. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах. М., 1981. 271 с.
34. Гельфанд Ф. М. и др. Новые способы борьбы с пылью в угольных шахтах. М., 1975. 288 с.
35. Михайлов В. А. и др. Борьба с пылью и ядовитыми газами при буровзрывных работах на карьерах. М., 1971. 120 с.
36. Саранчук В. И. и др. Физико-химические основы гидрообеспыливания и предупреждения взрывов угольной пыли. Киев, 1984. 216 с.
37. Никитин В. С. и др. К вопросу определения предельной кратности воздушно-механических пен, применяемых для подавления пыли: Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС. М., 1976. Вып. 100. С. 3 — 5.
38. Мухитов И. Изыскание эффективного способа пылеподавления при взрывных работах на открытых разработках: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Алма-Ата, 1975. 16 с.
39. Роменский Л. П. Пена как средство борьбы с пылью. Киев, 1976. 192 с.
40. Witkos M., Fieg I. Możliwości odpylania gazon przy rastosowaniu piany stabilnej Ochrona powietrza. 1979. № 3. P. 61 — 64.
41. Меркин А. П., Таубе П. Р. Непрочное чудо. М., 1983. 224 с.
42. Серебрякова З. Г. Поверхностно-активные вещества в производстве искусственных волокон. М., 1986. 192 с.
43. Абрамзон А. А. Поверхностно-активные вещества: свойства и применение. Л., 1981. 304 с.
44. Казаков М. В. Применение поверхностно-активных веществ для тушения пожаров. М., 1977. 80 с.
45. Цыганков А. П., Балацкий О. Ф., Сенин В. Н. Технический прогресс — химия — окружающая среда. М., 1979. 296 с.
46. Пушкарев В. В., Трофимов Д. И. Физико-химические особенности очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ. М., 1975. 144 с.
47. Котов А. А., Петров И. И., Реут В. Ч. Применение высокократной пены при тушении пожаров. М., 1972. 113 с.
48. А. с. 1270371 СССР. Состав для борьбы с пылью / Дюсебаев М. К., Мусабеков К. Б., Суляева Н. Г. и др. Оpubл. в Б. и., 1986. № 42.
49. Тихомиров В. К. Пены. Теория и практика их получения и разрушения М., 1983. 264 с.
50. Дементьев А. Г., Тараканов О. Г. Структура и свойства пенопластов. М., 1983. 176 с.

51. Гринман И. Г., Длимбетов Б. К., Жаксыбаева Е. Н. Контроль и регулирование процессов концентрирования цветных металлов. Алма-Ата, 1983. 259 с.
52. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика. М., 1958. 315 с.
53. Шинода К. и др. Коллоидные поверхностно-активные вещества, физико-химические свойства / Пер. с англ., Под ред. А. Б. Таубмана. М., 1966. 317 с.
54. Суляева Н. Г., Жумартов Б. С. Исследование пенообразования и взаимодействия пен с пылью при экранирующем пылеподавлении. Электрофизические способы пылеулавливания. Алма-Ата, 1987. С. 45 — 48.
55. Дюсебаев М. К. и др. Исследование пенообразования и разрушения пен при экранирующем пылеподавлении. Охрана труда и окружающей среды. Караганда, 1987. С. 54—57.
56. Manegold E. Schaum. Heidelberg, 1953. 512 S.
57. Чулаков П. Ч., Мухитов И. Механизм образования пены, применяемой при пылеподавлении // Технические науки. Алма-Ата, 1975. Вып. 16. С. 94 — 98.
58. Казаков М. В., Шароварников А. Ф. Сравнительная оценка пенообразующей способности поверхностно-активных веществ: Экспресс-информация. Сер. II. Пожарная техника и тушение пожаров. М., 1974. Вып. 50. 7 с.
59. Дюсебаев М. К., Генбач А. А. Процессы генерации и тепломассопереноса пены в пористых системах: Аналит. обзор. Алма-Ата, 1986. 23 с.
60. А. с. 1202598 СССР. Пеногенератор воздушно-механической пены / Дюсебаев М. К., Генбач А. А. Опубл. в Б. и., 1986. № 1.
61. Комащенко В. И. и др. Применение аппаратов мокрого пылеулавливания с добавками поверхностно-активных веществ при шарошечном бурении // Разработка рудничных месторождений. Киев, 1982. С. 103 — 111.
62. Нельсон И. А. О влиянии размера и заряда капель электростатически заряженного водного аэрозоля на его пылеподавляющую способность. Борьба с силикозом. М., 1970. Т. VIII. С. 5 — 11.
63. Кирич Б. Ф., Журавлев В. П., Рыжих Л. И. Борьба с пылевыделением в шахтах. М., 1983. 213 с.
64. Волохов М. И. Обеспыливание и контроль запыленности воздуха на рудниках. Алма-Ата, 1976. 152 с.
65. Фрумкин А. Л. Некоторые вопросы теории очистки рудничного воздуха от витающей пыли при помощи орошения // Изв. АН СССР. ОТН. 1955. № 11. С. 129 — 134.
66. Журавлев В. К., Зуслина Е. Х. Влияние электрических зарядов капель и пылинок на эффективность пылеулавливания при орошении // Борьба с силикозом. М., 1986. Т. XII. С. 51 — 56.
67. А. с. 949202 СССР. Фильтр тонкой очистки для установок кондиционирования воздуха на буровых станках / Дюсебаев М. К., Журавлев В. К., Пенкин Л. А. Опубл. в Б. и., 1982. № 29.
68. Федосеев В. И., Сажин П. Д. О способностях электростатически заряженных пузырьков к подавлению витающей пыли // Борьба с силикозом. М., 1974. Т. IX. С. 14 — 17.
69. Журавлев В. К., Коровченко Т. И. Исследование электризации пенных аэрозолей // Борьба с силикозом. М., 1986. Т. XII. С. 62 - 65.
70. Гребенщиков Л. С., Барский М. Л., Супрун А. П. Устройство для электризации капель в рудничных водяных завесах // Борьба с силикозом. М., 1970. Т. VIII. С. 12 - 16.
71. Моисеев Е. В. Основные электрофизические процессы, происходящие при электроокраске // Окраска изделий в электрическом поле. М., 1966. 243 с.
72. Дюсебаев М. К., Жумартов Б. С. Исследование способов электризации пены, Библиограф. указ. Деп. в ВИНТИ. М., 1984. № 12 (158). С. 215 — 217.
73. А. с. 1298399 СССР. Пеногенератор / Журавлев В. К., Дюсебаев М. К., Жумартов Б. С., Гайнутдинов Г. К. Опубл. в Б. и., 1987. № 11.

74. Журавлев В. К., Казиева Г. С. Влияние электризации пены на эффективность пылеподавления // Борьба с силикозом. М., 1986. Т. XII. С. 66 — 70.
75. Классен В. И. Омагничивание водных систем. М., 1982. 296 с.
76. Миненко В. И. Электромагнитная обработка воды в теплоэнергетике. Харьков, 1981. 96 с.
77. Круглицкий Н. Н. и др. Угледобыча и окружающая среда. Киев, 1985. 150 с.
78. Зелепухин В. Д., Зелепухин И. Д. Ключ к «живой» воде. Алма-Ата, 1987. 176 с.
79. Душкин С. С., Евстратов В. Н. Магнитная водоподготовка на химических предприятиях. М., 1986. 144 с.
80. Долгоносков Б. М., Ярославский В. Я. Исследование механизма воздействия магнитных полей на воду // Вопр. теории и практики магнитной обработки воды и водных систем. М., 1971. С. 100 — 104.
81. Сагинов А. С., Панов Г. Е., Обухов Ю. Д. Об улучшении свойств воды, инвентурируемой в горные массивы // Вестник АН КазССР. 1967. Вып. 10. С. 37 — 42.
82. Самойлов О. Я. Структура водных растворов электролитов. М., 1957. 182 с.
83. Сокольский Ю. М., Коновалова С. Л. Изменение плотности растворов под воздействием ультразвукового и магнитного полей // ЖПХ. 1984. № 7. С. 1449 — 1454.
84. Зальцман М. Д., Дюсебаев М. К., Суляева Н. Г. О влиянии магнитной обработки растворов ПАВ на свойства пен и процесс ценообразования // ЖПХ. 1986. № 3. С. 684 — 686.
85. Дюсебаев М. К. Электрофизические способы повышения эффективности пылеподавления пеной. Электрофизические способы пылеулавливания (межвузовский сборник научных трудов). Алма-Ата, 1987. С. 41 - 44.
86. А. с. 1133421 СССР. Пеногенератор / Дюсебаев М. К., Чернов Ю. К., Зальцман М. Д. Оpubл. в Б. и., 1985. № 1.
87. Лях Г. Д., Смола В. И. Кондиционирование воздуха в кабинах транспортных средств и кранов. М., 1982. 128 с.
88. Тарата Н. И. и др. Регламентация труда и шахтный микроклимат: Обзор / ЦНИЭИуголь. М., 1987. 43 с.
89. Малышева А. Е. Гигиенические вопросы радиационного теплообмена человека с окружающей средой. М., 1963. 243 с.
90. Денисенко Г. Ф. Охрана труда. М., 1985. 319 с.
91. Сухан Л. Кондиционирование воздуха в глубоких шахтах / Пер. с чешск. М., 1969. 208 с.
92. Чижевский А. Л. Аэроионификация в народном хозяйстве. М., 1960. 758 с.
93. Коссов П. А., Яковенко М. М. Средства обеспыливания воздуха на горнорудных предприятиях // Борьба с силикозом. М., 1980. Т. VIII. С. 28 — 32.
94. Дюсебаев М. К. Ионопропускная способность противопылевых респираторов и пылеуловителей // Труды КазПТИ. Алма-Ата, 1971. Вып. 33. С. 83 - 84.
95. Чернявский Е. А. Физико-химическая концепция атмосферной ионизации и баллоэлектрического эффекта при гидроионизации. Аэроионизация и гидроионизация в медицине // Мат-лы Всесоюз. конф. по аэро- и гидроаэроионизации. Ташкент, 1962. С. 17 — 30.
96. Латимер В. М. Окислительные состояния элементов и их потенциалы в водных растворах. М., 1954. 78 с.
97. Подображин С. И. и др. Разработка пенообразователей для предотвращения пылевых аэрозолей в угольных шахтах: Тез. докл. II Всесоюзной научно-технической конф. «Аэродисперсные системы и коагуляция аэрозолей». М., 1988. С. 130 — 131.
98. Кузнецов Г. И. и др. Кондиционирование рудничного воздуха за рубежом. М., 1986. 59 с.

99. Ткачев В. В. Экономические последствия нарушений гигиенических нормативов: Тез. докл. II Всесоюзной научно-технической конф. «Аэродисперсные системы и коагуляция аэрозолей». М., 1988. С. 126 — 127.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|--|-----|
| Введение | 3 |
| Глава 1. Борьба с пылью на горнорудных предприятиях | 6 |
| 1.1. Особенности и физико-химические свойства рудничной пыли | 6 |
| 1.2. Основные источники пыли | 15 |
| 1.3. Способы и средства борьбы с пылью | 22 |
| Глава 2. Физико-химические свойства пены | 39 |
| 2.1. Пенообразователи и пены | 39 |
| 2.2. Генерация и устройства для получения пены | 58 |
| 2.3. Взаимодействие частиц пыли с пузырьками пены | 66 |
| 2.4. Влияние ПАВ на технологические процессы | 71 |
| Глава 3. Способы повышения эффективности пылеподавления пеной | 74 |
| 3.1. Электризация пены | 74 |
| 3.2. Магнитная активация растворов ПАВ | 85 |
| Глава 4. Улучшение метеорологических условий на рабочих местах | 94 |
| 4.1. Нормализация микроклимата | 94 |
| 4.2. Ионизация воздуха | 103 |
| Заключение | 113 |
| Литература | 116 |

Марат Канафиевич Дюсебаев

**ПЫЛЕПОДАВЛЕНИЕ ПЕНОЙ
НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Утверждено к печати Ученым советом Института горного дела
Академии наук Казахской ССР*

*Зав. редакцией Т.Е. Каткова
Редакторы Т. В. Мягченкова, Р. К. Даниленко
Художественный редактор В. М. Грущак
Оформление художника А. Ф. Ефимцева
Технический редактор Л. Ю. Уляницкая
Корректор Г. А. Макукова*

ИБ № 2576. Монография

Сдано в набор 11.10.88. Подписано в печать 04.04.89. УГ10047.
Формат 60X84^{1/16}. Бум. тип. № 1. Литературная гарнитура. Высокая
печать. Усл.-п. л. 7,44. Усл. кр.-отг. 7,67. Уч.-изд. л. 8,38. Тираж 1 000.
Заказ 265. Цена 1 р. 70 к.

*Издательство «Наука» Казахской ССР
480100, Алма-Ата; ул. Пушкина, 111/113
Типография издательства «Наука» Казахской ССР
480021, Алма-Ата, ул. Шевченко, 28*