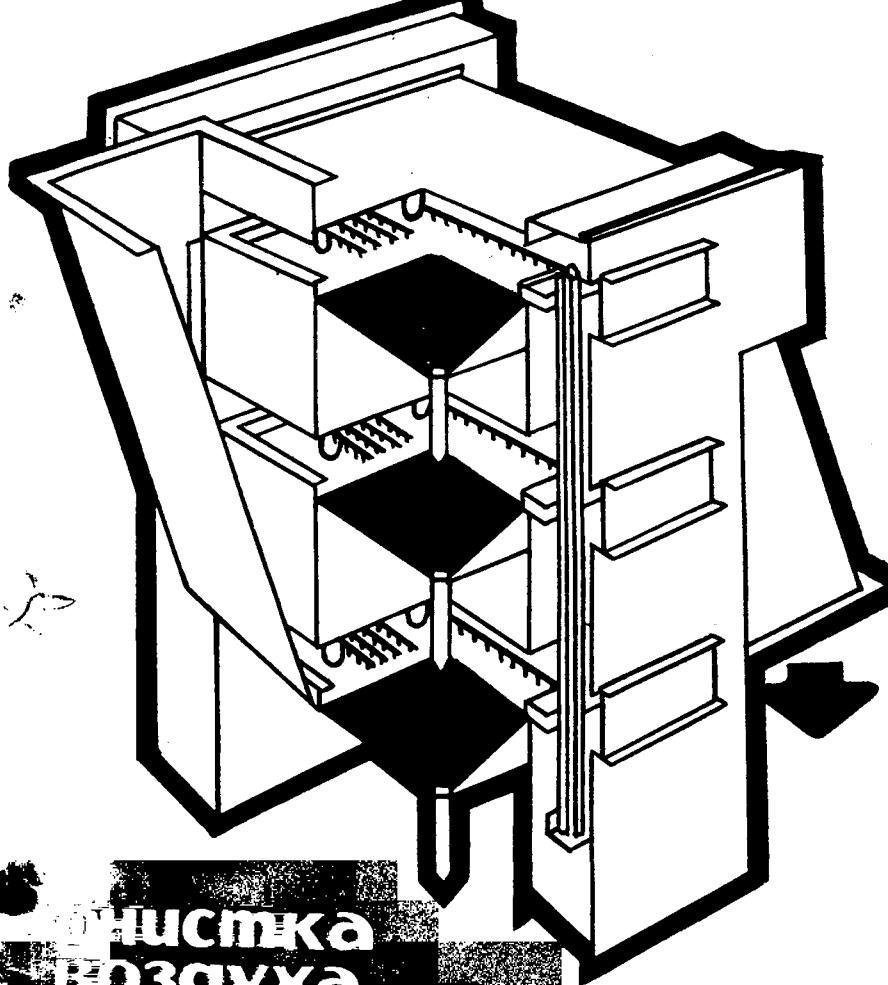




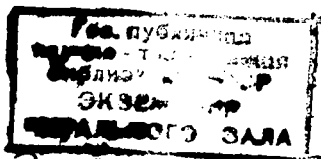
**Фильтрация
воздуха
от пыли
на горнорудных
предприятиях**

6П1.29

О-95

Б-77

115



Д. 44-63364

УДК 622.794 : 621.928.9

Очистка воздуха от пыли на горнорудных предприятиях.
Жовтуха Г. А., Стуканов В. И., Янов А. П.,
Сердюк Н. М. Киев, «Техніка», 1977, 150 с.

Дана характеристика источников пылеобразования и приведены основные способы и средства борьбы с пылью на горнорудных предприятиях, новые пылеулавливающие аппараты с использованием инерционного захвата пыли неравномерно движущимися каплями, конденсационного укрупнения частиц, коагуляции и осаждения их на различных препятствиях, транспортировки пыли под действием электрического ветра и перемещающейся зоны коронного разряда, а также электрического осаждения пыли на водную поверхность. Даны методы расчета пылеуловителей и их конструкции. Приведены современные методы контроля запыленности воздуха и работы пылеуловителей. Предназначена для инженерно-технических работников горнорудной промышленности, для работников проектных и научно-исследовательских организаций, может быть использована преподавателями и студентами вузов.

Табл. 14. Ил. 31. Список лит.: 46 назв.

Рецензент инж. В. П. Коваленко

Редакция литературы по тяжелой промышленности
Заведующий редакцией В. И. Кравец

О 30708-139
М202(04)-77 89-77

© Издательство «Техніка», 1977

ПРЕДИСЛОВИЕ

Проблема защиты воздушного бассейна от загрязнений — одна из основных проблем современности. В нашей стране решению этой проблемы уделяется огромное внимание, поскольку оздоровление условий труда на предприятиях и защита окружающей среды является одной из важных сторон повышения материального и культурного уровня жизни народа. Об этом свидетельствуют принятые ЦК КПСС, Советским правительством и Верховным Советом СССР специальные постановления и законы об усилении охраны природы, о недрах и др.

Применение современных способов и средств обеспыливания на железорудных предприятиях позволило уменьшить запыленность воздуха и в десятки раз снизить заболеваемость трудящихся пневмокониозами.

Во Всесоюзном научно-исследовательском институте безопасности труда в горнорудной промышленности (ВНИИБТГ) Минчермета СССР под руководством и при непосредственном участии авторов созданы новые пылеуловители для очистки вентиляционных и технологических выбросов, которые прошли длительную промышленную проверку на горнорудных предприятиях.

Высокой степенью очистки и оригинальностью отличаются пылеуловители, основанные на инерционном захвате пыли диспергированной водой, конденсационном укрупнении частиц, коагуляции и осаждении их на различных препятствиях под

действием инерционных сил, электрического ветра и перемещающейся зоны коронного разряда, а также на электрическом осаждении пыли на водную поверхность.

В настоящей книге описаны принцип действия и конструктивные особенности этих пылеуловителей, даны рекомендации по их рациональному использованию. Приведено также описание пылеуловителей, созданных другими авторами и нашедших применение на горнорудных предприятиях.

Глава I написана Г. А. Жовтухой, А. П. Яновым; § 1,5 главы II и § 1 главы III написаны Г. А. Жовтухой; § 4, 6, 7 главы II и § 2, 3 главы III — В. И. Стукановым; предисловие, § 2 главы II и § 1, 2, 3 главы IV — А. П. Яновым; § 3 главы II — Н. М. Сердюком.

Отзывы о книге просим направлять по адресу: 252601, Киев, 1, ГСП, Пушкинская, 28, издательство «Техніка».

ОСОБЕННОСТИ ПЫЛЕОБРАЗОВАНИЯ НА ГОРНОРУДНЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ, ОСНОВНЫЕ СПОСОБЫ И СРЕДСТВА БОРЬБЫ С ПЫЛЬЮ

Добыча железной руды открытым способом и ее переработка сопровождаются образованием большого количества пыли.

Технологические процессы подземной добычи руды хотя и сопровождаются пылеобразованием, однако значительная часть пыли остается в подземных выработках и в меньшей степени загрязняется атмосфера на поверхности. Значительное количество пыли образуется при работе поверхностных комплексов шахт и складов руды.

1. ПОДЗЕМНЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ

При взрывных работах в подземных условиях выделяются пыль и ядовитые газы.

Запыленность воздуха (мг/м^3) в пределах зоны отброса продуктов взрыва при проведении выработок

$$C_v = K_n f l K_c / K_v,$$

где K_n — коэффициент пропорциональности (при определении средней запыленности $K_n = 20$, начальной максимальной $K_n = 60$); f — коэффициент крепости пород по шкале проф. М. М. Протоdjяконова; l — глубина шпуров, м; K_c — коэффициент, зависящий от способа взрывания (при огневом способе взрывания $K_c = 1$, при электрическом $K_c = 0,5$); K_v — коэффициент, зависящий от степени обводненности забоя (в сухом забое $K_v = 0,5$; в забое без притока воды, но имеющем влажные породы или

искусственное орошение $K_v=1,0$; в забое со слабым до $1 \text{ м}^3/\text{ч}$ притоком воды $K_v=2$; в обводненном забое с сильным капежом $K_v=3$).

Количество пыли (г/с), образующейся при дроблении негабарита взрыванием, $P=1,4 \cdot 10^5 K A$, где $K=0,1$ — коэффициент уменьшения пылеобразования при использовании гидрозабойки при соотношении масс забойки и ВВ, равном 2 : 1, без применения гидрозабойки $K=1$; A — масса накладного заряда ВВ.

Газообразование при ведении взрывных работ зависит от вида ВВ и особенно его кислородного баланса. Применяемые в подземных условиях аммиачно-селитренные ВВ имеют близкий химический состав и почти нулевой кислородный баланс. Их газовость, как это убедительно показали исследования, зависит только от условий взрывания и, главным образом, от крепости пород.

При взрывании шпуровых зарядов концентрация окиси углерода в пределах зоны отброса продуктов взрыва возрастает пропорционально крепости пород от 0,0352 до 0,5390%, или в пересчете на 1 кг ВВ от 5,4 до 62 л. Концентрация углекислого газа изменяется по такой же зависимости от 0,2 до 1,5% (от 40 до 186 л на 1 кг ВВ). Концентрация окислов азота уменьшается с увеличением крепости пород от 0,037 до 0,0020%, или от 7,0 до 0,24 л на 1 кг ВВ. При взрывании накладных зарядов концентрация окислов азота достигает 400 л/кг при незначительном образовании окиси углерода.

Отбитая железная руда содержит до 3,5% окиси углерода и до 0,018 окислов азота, а пустая порода — не более 0,01% окиси углерода и столько же окислов азота.

Значительную часть окислов азота (0,0358—0,002 мг/г) и окиси углерода (0,0185—0,0028 мг/г)

сорбирует и длительное (месяцы) время удерживает рудничная пыль. Пыль, адсорбировавшая ядовитые газы, усиливает развитие силикоза в 2—3 раза. В осевшей и особенно витающей пыли обнаружены полициклические ароматические углеводороды.

Как показали опытные взрывы, наибольшее количество углеводородных веществ образуется при горении огнепроводного шнура и взрывании ВВ в бумажной парафинированной оболочке. При электрическом взрывании ВВ без оболочки полициклические ароматические углеводороды отсутствовали даже в породах, имеющих в своем составе естественные битумы. Электрический способ взрывания с миллисекундным замедлением позволяет снизить запыленность в два раза. Для локализации вредных продуктов взрыва на месте их образования рекомендуется применять агрегат комплексной очистки воздуха от пыли и ядовитых газов, который создан во ВНИИБТГ [1].

Наиболее интенсивным источником пыли являются буровые работы. Исследованиями, проведенными в лабораторных и производственных условиях, установлено, что запыленность воздуха в забое на 90% зависит от внешних источников пыли — забуривания шпуров, взметывания ранее осевшей пыли и особенно диспергирования бурового шлама.

Запыленность воздуха при бурении шпуров

$$C_6 = K_0 f^2 V d^2 (1 + 0,6p^2) \alpha n^{0,75},$$

где $K_0 = 5 \cdot 10^{-8}$ — коэффициент пропорциональности; f — коэффициент крепости породы; V — скорость бурения, мм/мин; d — диаметр шпура, мм; p — разность давлений воды и сжатого воздуха, Па; α — коэффициент пространственного положения выработки (горизонтальные $\alpha=1$, ствол $\alpha=2$, восста-

ющий $\alpha=4$; при применении средств отвода выхлопа сжатого воздуха и шлама во всех случаях $\alpha=1$); n — число одновременно работающих перфораторов.

Оптимальными являются следующие условия бурения шпуров с осевой подачей воды:

расход воды при бурении пород крепких и средней крепости для перфораторов легкого и среднего типа составляет 5 л/мин; для перфораторов тяжелого типа и телескопных — 6, при бурении слабых пород — 3—4 л/мин;

давление воды должно быть равно давлению сжатого воздуха, при этом утечки сжатого воздуха не превысят 3—5 л/мин.

Наиболее рациональной формой буровой коронки является долотчатая, имеющая два боковых промывочных отверстия, расположенных вблизи лезвия коронки и направленных на забой шпура. Износ лезвия коронки при бурении крепких пород не должен превышать 1,5, легких — 3 мм.

Для предупреждения диспергирования бурового шлама и повторного взметывания осевшей пыли необходимо применять устройства для отвода отработавшего сжатого воздуха и шлагоуловители. При эксплуатации самоходных буровых кареток СБКНС-2 следует использовать систему пылемаслоулавливания, созданную ВНИИБТГ.

Запыленность воздуха при очистке шпуров продувкой сжатым воздухом достигает 30—40 мг/м³. При использовании гидропневмоочистителя шпуров она не превышает предельно допустимую.

Запыленность воздуха при бурении глубоких скважин станками НКР-100 в зависимости от глубины скважины изменяется от 3 до 10 мг/м³. Подача в скважину 10 л воды в минуту и применение шлагоуловителей позволяют снизить запыленность до уровня, близкого к ПДК.

Запыленность воздуха при уборке и погрузке горной массы зависит в основном от крепости породы, степени увлажнения ее и типа погрузочной машины (ее производительности):

$$C_{\text{п}} = K_{\text{пп}} f K_{\text{пy}} K_{\text{пт}},$$

где $K_{\text{пп}} = 2$ — коэффициент пропорциональности; f — коэффициент крепости породы; $K_{\text{пy}} = 0,05 \dots 0,2$; $K_{\text{пт}}$ — коэффициент, учитывающий тип погрузочной машины (для машин ковшового типа $K_{\text{пт}} = 1$; с нагребными лапами $K_{\text{пт}} = 2$; для погрузчиков КС $K_{\text{пт}} = 1,5$).

Увлажнение горной массы ($5\text{--}15 \text{ л/м}^3$) и орошение ее при погрузке ковшовыми погрузочными машинами позволяют снизить запыленность воздуха до ПДК. При использовании погрузочных машин с нагребными лапами это мероприятие не обеспечивает ПДК.

Запыленность воздуха при скреперной доставке руды достигает $3\text{--}4 \text{ мг/м}^3$ при расположении лебедки на сквозной струе и $10\text{--}12 \text{ мг/м}^3$ — в нише. При влажности материала менее 0,5% интенсивность пылеобразования достигает 15 г/т. Повышение влажности руды до 4—5% снижает пылеобразование в 15 раз. При использовании оросителей нижнего действия, заблокированных с лебедкой, запыленность воздуха ниже 2 мг/м^3 .

Возведение деревянной, металлической и бетонной крепи сопровождается невысокой запыленностью воздуха. При торкретировании выработок выделяется значительное количество пыли. Запыленность воздуха при безопалубочном бетонировании машиной БМ-60 доходит до 400 мг/м^3 и может быть определена по формуле

$$C_{\text{бт}} = 2,78 \cdot 10^{-5} p_{\text{б}} q_{\text{п}} K_{\text{бз}} K_{\text{бс}} K_{\text{бп}},$$

где p_6 — производительность машины, т/ч; $q_{\text{п}}$ — содержание в бетонной смеси фракции пыли менее 10 мкм, %; $K_{6з} = 0,35$ — коэффициент, учитывающий снижение пылеобразования после затворения; $K_{6с} = 0,25$ — коэффициент, учитывающий степень смазывания бетонной массы; $K_{6п} = 0,2$ — коэффициент, учитывающий наличие средств пылеподавления.

Для снижения запыленности воздуха при торкретировании выработок необходимо применять комплекс средств, который включает камеру затворения и цилиндро-коническое сопло со специальным пылегасителем. Это позволяет снизить запыленность воздуха до 10 мг/м³.

Для повышения эффективности гидрообеспыливания в воду добавляют поверхностно-активные вещества (ПАВ). Исследования ВНИИБТГ показали, что 0,1 %-ный раствор поваренной соли повышает пылеулавливающую способность воды на 30 %. Соль в несколько раз дешевле химических веществ (ОП, БД и др.), не обладает биологической токсичностью, снижает агрессивность пыли. Последнее достигается также применением раствора гидрата окиси кальция. Проветривание подземных выработок является основным методом борьбы с рудничной пылью. При этом наиболее эффективным является комбинированный способ, когда выработка на всем протяжении проветривается с помощью всасывающего вентилятора местного проветривания и воздуховода, расположенного на расстоянии 10—15 м от забоя.

Для турбулизации и удаления загрязненного воздуха из призабойного пространства используется малогабаритный эжектор с кольцевой щелью подачи 1 м³/с. Отбитая горная масса орошается водой. Для проветривания короткометражных подготовительных выработок эжектор используется самостоятельно.

Проветривание железорудных шахт осуществляется, как правило, всасывающим способом по фланговой схеме. Свежий воздух подается по центральному стволу, который служит для подъема руды. Во все шахты подается необходимое количество воздуха с учетом оптимальной скорости его движения: в тупиковых выработках 0,25, в сквозных — 0,5 м/с.

Из ствола воздух поступает на вскрываемый, подготавливаемый и эксплуатационный горизонты (последних может быть несколько), оmyвает забои и по вентиляционным выработкам выбрасывается на вышележащие этажи. На многих шахтах для отвода загрязненного воздуха используются специальные штреки-коллекторы, пройденные несколько выше откаточного горизонта. На вентиляционном горизонте он поступает к флангам шахтного поля, по квершлагам направляется к вентиляционным стволам и выбрасывается на поверхность вентиляторами главного проветривания. Подача вентиляторов главного проветривания достигает 250, а на руднике им. Кирова — 450 м³/с. Запыленность выбросов вентиляторов главного проветривания 1—3 мг/м³. За счет конденсата (до 2 г/м³) пыль укрупняется до 8—10 мкм. Конденсат таких размеров может быть уловлен сравнительно простыми инерционными фильтрами.

Воздух, выбрасываемый из подготовительных горизонтов после очистки его от пыли, может быть повторно использован для проветривания вышележащих эксплуатационных этажей. В пылеуловителях для промежуточной очистки вентиляционного воздуха остаточная концентрация пыли не должна превышать 0,5 мг/м³ при начальном ее содержании 3—5 мг/м³ и дисперсности 2—3 мкм. Габариты фильтра не должны превышать размеров подземных выработок (площадь поперечного сечения 3×3 м²). Фильтр должен иметь небольшое аэродинамическое

сопротивление (минимальные эксплуатационные расходы) и быть надежным в условиях высокой (до 100%) относительной влажности воздуха. Таким условиям наиболее отвечают электрические фильтры.

Рудничный воздух, очищенный от пыли, может быть повторно использован при последовательном проветривании тупиковых выработок, а также при аспирации очагов интенсивного пылеобразования, таких, как подземный приемный бункер, где иногда устанавливают дробилки и запыленность воздуха достигает 1000 мг/м^3 и более. Хорошие результаты получены при использовании тканевых фильтров — рамочных на проведении выработок и рукавных на подземных бункерах. Однако высокая относительная влажность воздуха может приводить к залипанию ткани. В таких случаях более рациональной может оказаться электростатическая очистка воздуха от пыли.

2. НАДШАХТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Основными причинами загрязнения окружающей среды являются аспирационные выбросы от укрытий пылящего оборудования и перегрузочных узлов надшахтных комплексов: приемных и промежуточных бункеров, пластинчатых и ленточных питателей, дробилок, грохотов и узлов перегрузки руды.

В приемные бункера периодически поступают большие массы руды крупностью до 400 мм с содержанием 5—10% фракций, которые могут быть взвешены интенсивным воздушным потоком, возникающим при разгрузке. От бункера, оборудованного емким укрытием, отсасывается за 1 ч от 10 до 40 тыс. м^3 воздуха, средняя величина запыленности

которого колеблется в пределах от 500 до 1000 мг/м³, а медианный диаметр пыли равен 10 мкм.

Во избежание загрязнения воздуха в помещении загрузочные щели промежуточных бункеров следует оборудовать укрытием. Аппарат отсоса необходимо подключить к общей аспирационной системе. Объем отсасываемого за 1 ч воздуха составляет 2—4 тыс. м³, запыленность — 100—55 мг/м³, медианный диаметр — 10 мкм.

В пластинчатых питателях пыль выделяется вследствие просыпания мелочи, а также истирания материала между подвижными частями. Для предотвращения пылевыведения пластинчатые питатели необходимо оборудовать укрытиями кабинного типа. Объем отсасываемого от укрытия воздуха составляет около 3 тыс. м³ за 1 ч, запыленность — 200—600 мг/м³, медианный диаметр пыли — 20 мкм. Ленточные питатели оборудуются емкими укрытиями кабинного типа, аэродинамически связанными укрытиями питающегося от них оборудования.

Грохота колосниковые оборудуются емкими укрытиями. Воздух отсасывается в месте загрузки руды на ленточный конвейер, загружаемый надгрохотным продуктом. Объем воздуха составляет 3—4 тыс. м³ за 1 ч. Запыленность равна примерно 2200 мг/м³. Объем отсасываемого воздуха от укрытия конвейера, загружаемого подгрохотным продуктом составляет 3—5 тыс. м³ за 1 ч, запыленность — 6800 мг/м³, медианный диаметр пыли — 10—20 мкм.

Виброгрохота помещаются в укрытия кабинного типа с местным аппаратом отсоса, подсоединенным к общей аспирационной системе. Объем аспирационного воздуха равен 3,0 тыс. м³ за 1 ч при запыленности 300 мг/м³. Объем отсасываемого воздуха от укрытий мест загрузки ленточных конвейеров виброгрохотами составляет 2,5 тыс. м³ за 1 ч,

запыленность — 3000 мг/м^3 , медианный диаметр пыли — 10 мкм .

Загрузочная и разгрузочная части дробилок оборудуются укрытиями. Количество отсасываемого воздуха от укрытия загрузочной части достигает для дробилок среднего дробления 10 тыс. м^3 за 1 ч; запыленность воздуха — 300 мг/м^3 ; для дробилок мелкого дробления — 7 тыс. м^3 за 1 ч; запыленность воздуха такая же. От укрытия разгрузочной части (место загрузки ленточного конвейера) отсасывается за 1 ч до 12 тыс. м^3 воздуха; запыленность воздуха — до 3000 мг/м^3 .

Узлы перегрузки руды с конвейера на конвейер оборудуются укрытиями кабинного типа. Производительность местных аппаратов отсоса равна $3—9 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$, запыленность воздуха — $75—600 \text{ мг/м}^3$, медианный диаметр пыли — $10—20 \text{ мкм}$.

Для очистки аспирационного воздуха местные аппараты отсоса воздуха от укрытий пылящего оборудования, где это возможно, подключаются к централизованным системам. Поскольку пыль сравнительно крупная (медианный диаметр во всех случаях не менее 10 мкм), а запыленность с учетом усреднения не очень высокая, то воздух можно очищать в мокрых пылеуловителях типа циклон-промыватель с уголковыми или другими коагуляторами. Мокрые пылеуловители устанавливаются в зданиях и сооружениях, где имеется шламовое хозяйство и температура в холодный период не ниже $+5^\circ \text{C}$. Если шламового хозяйства нет, очищать аспирационный воздух следует тканевыми фильтрами или электрофильтрами.

Окружающая среда загрязняется при эксплуатации открытых складов. При загрузке из струи свободно падающего материала уносится ветром от $0,01$ до $0,25\%$ материала. В течение года с одного

квадратного метра поверхности штабеля с учетом коэффициента заполняемости склада, равного 2,5, сдувается до 5 кг пыли.

Основными способами предотвращения загрязнения атмосферы являются уменьшение высоты свободно падающего материала, ограждение падающего материала от действия ветра, увеличение влажности руды, закрепление поверхностей штабелей. Для ограждения падающей струи можно применять вертикальные перегородки из сегментов или складывающихся ветрозащитных устройств, ограждающие стенки которых выполнены из синтетической ткани с кольцами жесткости. Штабеля закрепляются раствором извести, расход которой $1,5 \text{ л/м}^2$ при концентрации 4 г на 1 л воды для летнего времени, а для предотвращения водной и ветровой эрозии в осенне-зимний период — сначала раствором извести концентрацией 2,4 г/л, затем раствором жидкого стекла концентрацией 4,5 г/л. Расход каждого раствора равен 1 л/м^2 . Поскольку пыление складов носит линейный и площадной характер, применить коллекторные способы захвата уносимой пыли и очистку воздуха практически невозможно.

3. ОТКРЫТЫЕ ГОРНЫЕ РАБОТЫ

Массовые взрывы, буровые работы, дробление негабарита, выемочно-погрузочные операции, транспорт горной массы, грохочение и дробление ее являются основными причинами выделения пыли в карьерах. Кроме того, взметывание пыли с откосов уступов, отвалов и хвостохранилищ также способствует интенсивному загрязнению атмосферы. Чтобы избавиться от пыли, ее локализуют на месте образования, воздух в кабинах горного и транспортно-

го оборудования кондиционируют, карьер и особенно застойные зоны проветривают свободными струями [19].

Самым интенсивным, хотя и кратковременным, периодическим источником пыли и ядовитых газов является массовый взрыв. К моменту полного формирования пылегазового облака в зависимости от количества и типа ВВ, геологоминералогической характеристики взрываемых пород количество вредных примесей в верхней части его колеблется: по пыли оно составляет — 400—1900 мг/м³; по газу (СО) — 0,003—0,084 %.

Снижения концентрации пыли и газов при массовых взрывах можно достичь применением ВВ с нулевым или близким к нему кислородным балансом (игданит, ифзанит, акватол и зерногранулит 79/21); взрыванием высоких уступов на неподобранную горную массу с образованием воздушных промежутков в заряженных скважинах; введением различных нейтрализующих добавок в забойку скважин (известь-пушонка и неочищенная соль); применением внутренней и внешней водяной забойки скважин; орошением зоны выпадания пыли водой или пылесмачивающими добавками (расход 10 л/м²); управлением естественным проветриванием (приурочивая время взрыва на момент максимальной ветровой активности); орошением взорванной горной массы (45—50 л/м³ разрушенной породы).

Источником пыли являются и буровые работы. При бурении скважин шарошечными станками без средств пылеподавления концентрация пыли достигает 3000—19 000 мг/м³, методом огневого бурения — 190—17 000, канатно-ударными станками — 12,6—14,1 мг/м³. Пылеобразование можно уменьшить путем улучшения технологических методов бурения, выбора оптимального режима бурения,

создания новых типов долот (ТЭП, ОК, ОКП, «безвихревых», с «периферийной» продувкой и др.).

Средства пылеулавливания и пылеподавления на станках шарошечного бурения по конструктивному исполнению различны, но в основном состоят из аппаратов отсоса буровой мелочи и запыленного воздуха от устья (укрытие), аппаратов пылеулавливания (циклон, рукавный фильтр, гидроосадитель, труба Вентури и т. д.) и побудителя тяги (вентилятор, вакуум-насос, эжектор). Широкое применение получил способ пылеподавления водовоздушной струей, подаваемой на забой скважины.

Снижения запыленности и загазованности воздуха при работе станков огневого бурения можно добиться при более полном сгорании топлива в форсунках с равномерным распределением горючего в камере сгорания и установкой в форсунке ультразвуковых генераторов; бурением с избытком окислителя, равным 1,2—1,3; регулированием времени продувки скважины; добавлением нейтрализующих веществ и охлаждающей жидкости к топливу; использованием пылегазоулавливающих установок, включающих укрытие-бункер, уголкового фильтра, пенный аппарат и эмульсионную установку. Эмульсия используется вместо воды для нейтрализации ядовитых газов.

Запыленность в кабинах экскаваторов при погрузке материала в неувлажненном забое достигает 180 мг/м^3 и более (особенно при отрицательных температурах).

Для борьбы с пылью в экскаваторных забоях широко применяется увлажнение горной массы специальными поливочными устройствами (гидромониторы), смонтированными на автомобильном или железнодорожном ходу, один-два раза в сутки с расходом воды 25—40 л/м³.

ВНИИБТГ разработал методику определения оптимального расхода воды в зависимости от физико-механических свойств горной массы и организации поливочных работ, методику расчета необходимого количества оборудования для пылеподавления, выбора параметров поливочных установок и места расположения пунктов их заправки [20].

Для кабин машиниста экскаватора создана установка кондиционирования воздуха, которая состоит из тканевого фильтра, вентилятора, водоиспарительного аппарата для охлаждения воздуха, системы напорных и воздухораспределительных воздухопроводов. Установка поддерживает в кабине температуру воздуха $17\text{--}28^{\circ}\text{C}$, относительную влажность $30\text{--}65\%$, запыленность не выше $1\text{--}2\text{ мг/м}^3$, что соответствует санитарной норме.

Транспортирование горной массы также сопровождается пылением. Карьерные дороги в общем балансе пылевыведения в карьере занимают 60% . Запыленность воздуха в кабинах автомашин — $3\text{--}32\text{ мг/м}^3$. Обеспыливание автодорог осуществляется несколькими путями: улучшением покрытия, поливом водой, укреплением поверхности дорог связующими добавками, препятствующими взметыванию пыли. Выездные дороги покрывают бетонными плитами, временные посыпают щебнем. Самым распространенным способом подавления пыли является поливка автодорог водой. Расход воды равен $1,2\text{--}2\text{ л/м}^2$.

В качестве связующих веществ применяются: $2,6\%$ -ный хлористый кальций (водный раствор), расход его $1,9\text{--}1,5\text{ л/м}^2$, интервал между поливами 180 мин;

хлористый кальций и поваренная соль в твердом виде. Дороги обрабатываются гранулированным хлористым кальцием с расходом 600 г/м^2 , смесью

гранулированного хлористого кальция и поваренной соли 600 г/м²;

сульфитно-спиртовая барда (ССБ). В виде водного раствора различной концентрации при помощи поливочной машины она наносится на поверхность дороги с расходом 1,5—8,0 л/м²;

сырая нефть. При помощи поливочных машин ею обрабатывают поверхность дороги; ее расход — 0,15—0,02 кг/м²;

мазут, разогретый до 90° С. При помощи автогудронатора он наносится на поверхность; его расход — 2,5—3 кг/м²;

5%-ная битумная эмульсия. Ею в несколько приемов покрывают дорогу, не прекращая движения транспорта; операция повторяется после затвердения эмульсии.

Содержание примесей в общем объеме выхлопных газов автосамосвалов колеблется. Окись углерода составляет 0,1—2% по объему, окись азота — 0—5 мг/л, альдегиды в переводе на формальдегиды 0—1 мг/л, углеводород — 0—1 мг/л, сажа — следы. Уменьшения выхода токсичных газов при работе автосамосвалов можно достичь путем использования многотопливного двигателя, работающего по новому термодинамическому циклу, или добавления к топливу специальных веществ-присадок. Более эффективным является использование нейтрализаторов: жидкостных, пламенных, каталитических и термокatalитических. В жидкостных нейтрализаторах газы пропускают через раствор жидкости (например, аммиака). При пламенном дожигании отработавшие газы пропускают через пламя. В каталитических нейтрализаторах газы окисляются в присутствии катализатора (платина, палладий). Принцип работы термокatalитических нейтрализаторов состоит в предварительном подогреве газов.

Наибольшая эффективность нейтрализации (60—70%) получена при использовании каталитических и термокаталитических нейтрализаторов. Наиболее перспективными из существующих нейтрализаторов являются НКД-241 и НКИ-3М. В НКД-241 используется платиновый катализатор ШПК-2, а в НКИ-3М — меднохромоокисный ШС-2.

Для кабин автосамосвалов разработана установка кондиционирования воздуха КА-5. Она состоит из кресла-кондиционера, силового агрегата и гидропривода. Кондиционер поддерживает в кабине температуру воздуха 17—26°С, относительную влажность 30—66%, запыленность не более 1,1 мг/м³.

Значительным источником загрязнения атмосферы являются откосы уступов, отвалы (до 600 мг/м³) и хвостохранилища (до 5000 мг/м³). Пылящие поверхности отвалов и хвостохранилищ закрепляются биологическим или химическим способом. При биологическом способе на завершенных хвостохранилищах и отвалах выращивают деревья и кустарники, а также многолетние бобовые и злаковые культуры. При подготовке участков под лесонасаждения без применения почвы пользуются отвально-вскрышным оборудованием карьеров. Для нанесения почвы применяют тракторные погрузчики на пневмоходу и грейфер-элеваторы в комплексе с автосамосвалами. Одним из рациональных способов нанесения растительного слоя на завершенные участки хвостохранилищ является доставка грунта в потоке пульпы [27].

Химический способ рационален для периодически действующих участков. В качестве химзакрепителя хорошо зарекомендовали себя битумная эмульсия (18%) и полиакриламиды. Эти закрепители могут быть использованы для закрепления откосов уступов в карьере.

Циклично-поточная технология, которая в по-

следние годы находит все большее применение на открытых горных работах, связана с установкой самоходных дробильных агрегатов, грохочением и конвейерной доставкой горной массы. Запыленность воздуха у дробилки составляет $500\text{—}3000\text{ мг/м}^3$, у перегрузок конвейера — $20\text{—}40\text{ мг/м}^3$. Это оборудование требует укрытия и аспирации загрязненного воздуха с последующей его очисткой. Наиболее рациональной в этом случае является сухая очистка воздуха в тканевых фильтрах, особенно в районах с длительным периодом отрицательных температур. Система аспирации дробилки СДА-300 с очисткой воздуха в тканевых фильтрах действует на Тургорском руднике на Урале.

4. ОБОГАЩЕНИЕ И АГЛОМЕРАЦИЯ РУДЫ *

Процессы обогащения и агломерации руды занимают одно из ведущих мест в горнорудной промышленности, являясь связующим звеном технологического комплекса между рудником и металлургическим предприятием.

Руда в корпус крупного дробления, как правило, доставляется железнодорожным транспортом. Разгрузка думпкаров в приемную воронку крупного дробления сопровождается значительным выделением пыли. При полном или частичном укрытии приемной воронки объем аспирируемого воздуха за 1 ч составляет $150\text{—}200\text{ тыс. м}^3$. Аспирационный воздух целесообразно очищать в сухих фильтрах (тканевых, электрических и т. п.).

Системой питателей и ленточных конвейеров руда направляется через промежуточные бункеры на среднее и мелкое дробление в конусных дробилках.

* В написании параграфа принимал участие И. Н. Логачев.

Сосредоточенный характер выделения пыли позволяет здесь с успехом применить аспирацию. Укрытиями оборудуются загрузочная часть дробилок, питателей, конвейеров, грохотов. Загрузочная щель промежуточных бункеров максимально герметизируется. Объемы отсасываемого воздуха определяются типом оборудования, компоновочной схемой его размещения, в каждом конкретном случае рассчитываются по специальным методикам [24] и в среднем составляют для дробилок среднего дробления 5—6 тыс. м³, мелкого дробления — 4—5 тыс., грохотов — 8—10 тыс., бункеров — 10—15 тыс., конвейеров — 5—10 тыс., питателей — 3—6 тыс. м³ за 1 ч. Запыленность аспирационного воздуха колеблется в пределах 0,5—9 г/м³. Наибольшей величины концентрация пыли достигает в воздухе, отсасываемом из укрытий грохотов и дробилок.

На сухое обогащение руда направляется, как правило, после мелкого дробления. Здесь основными источниками выделения пыли являются сухие магнитные сепараторы и примыкающие к ним питатели и конвейеры. Запыленный воздух отсасывается от укрытий сепаратора (3—4 тыс. м³/ч) и места разгрузки концентрата, хвостов и промпродукта на ленточные конвейеры (2,5—3 тыс. м³/ч от каждого конвейера).

Запыленность воздуха равна 0,2—1,0 г/м³.

В корпусах мокрого обогащения пыль выделяется лишь на участках подачи дробленой руды системой ленточных конвейеров через промежуточные бункера в мельницы. Обеспыливание этих участков аналогично обеспыливанию корпусов дробления. Очистка аспирационного воздуха в корпусах дробления и обогащения осуществляется мокрыми инерционными фильтрами с уголковыми коагуляторами, тканевыми фильтрами.

Для превращения слабомагнитных рудных минералов (гематита, гидрогематита и др.) в ферромагнитные материалы и использования в дальнейшем магнитного обогащения окисленные руды после дробления поступают в корпус магнетизирующего обжига. Обожженная руда охлаждается в барабанных охладителях водой, вводимой при помощи брызгал. При этом охладители работают на испарение, если вся подаваемая вода превращается в пар, или под заливом (ЦГОК), когда крупные частицы руды при помощи вмонтированной в барабан бутары обезвоживаются и транспортируются ленточными конвейерами в корпус обогащения, а мелкие частицы идут в слив, попадая в зумпф, откуда перекачиваются насосами на обогатительную фабрику. Здесь наиболее интенсивным источником выделения пыли являются охладительные барабаны.

Образующаяся в барабане паропылевая смесь объемом 15—20 тыс. м³/ч отсасывается от укрытия разгрузочной части охладительного барабана. Запыленность воздуха достигает 40 г/м³. Аспирационный воздух следует очищать в мокрых высокоэффективных пылеуловителях. Так как аспирационные воздуховоды забиваются влажной пылью, пылеуловители необходимо устанавливать вблизи аспирационных укрытий или непосредственно на них.

Основными источниками загрязнения на обогатительных фабриках являются технологические выбросы от печей магнетизирующего обжига руды и от сушильных барабанов руды и концентрата, а также аспирационные выбросы от укрытий пылящего оборудования. Объем выбрасываемых за 1 ч газов от одной печи магнетизирующего обжига составляет 100—110 тыс. м³ при температуре 500—550° С; запыленность газов — 70—75 г/м³; медианный диаметр пыли — 30—40 мкм. Наличие в выбрасываемых

газах высокоабразивной пыли не позволяет применять мокрую систему газоочистки, а высокая температура исключает применение тканевых фильтров. Рациональной является сухая электрическая очистка воздуха.

На некоторых предприятиях (ИнГОК, ССГОК) применяется сушка руды. Объем выбросов из сушильных печей барабанного типа достигает за 1 ч 50 тыс. м³ при температуре выбрасываемых газов 80—100° С; запыленность — 20 г/м³; медианный диаметр пыли — 20 мкм. Влажность воздуха составляет 100%. Достаточную очистку газов от пыли можно получить в мокрых пылеуловителях — низконапорных трубах Вентури с каплеуловителем или в циклонах-промывателях с уголковыми коагуляторами.

Тонкоизмельченный влажный концентрат с обогатительной фабрики системой конвейеров подается на фабрику окускования. Основными способами окускования руд и концентратов в настоящее время являются агломерация и окомкование.

Исходные шихтовые материалы: концентрат, агломерационная руда, известняк, бентонит и топливо (кокс) — поступают в шихтовое отделение, где они перерабатываются (дробление и обжиг известняка, измельчение кокса), дозируются и смешиваются. Руда, кокс и известняк загружаются в приемную яму вагоноопрокидывателя, затем ленточными конвейерами складировются в штабеля. Здесь основными источниками выделения пыли являются питатели, конвейеры, роторные вагоноопрокидыватели.

Объемы аспирационного воздуха составляют для роторных вагоноопрокидывателей при наличии емких укрытий над приемным бункером с обдувкой ротора 150 тыс. м³, для питателей — 3—9 тыс., для конвейеров — 2—5 тыс. м³ за 1 ч. Запыленность аспирационного воздуха для неувлажненных мате-

риалов достигает 1,5—2 г/м³. Воздух, отсасываемый от укрытия роторного вагоноопрокидывателя, очищается в рукавных фильтрах, в остальных случаях — в мокрых пылеуловителях с коагуляторами.

Кокс со склада системой ленточных конвейеров после предварительного грохочения подается в приемные бункера корпуса измельчения топлива, а затем в корпус шихтовых бункеров.

Объемы аспирационного воздуха составляют: для грохота кокса при наличии укрытия кабинного типа 5—8 тыс. м³ за 1 ч, для бункеров с самозагружающимися тележками при наличии уплотнения загрузочной щели 15—20 тыс., для четырехвалковых дробилок 1,5—2 тыс.; от укрытия загрузочной части дробилки 4—5 тыс. и от укрытия места выгрузки измельченного кокса на оборотный конвейер 6—7 тыс. м³. Концентрация пыли в отсасываемом воздухе достигает для неувлажненного кокса 0,5—4 г/м³. Наибольшая запыленность воздуха наблюдается при отсосе от укрытия грохота. Увлажнение кокса до 4—6% позволяет первоначальную запыленность аспирационного воздуха снизить более чем в 2 раза.

Известняк из штабеля конвейерами подается в корпус дробления. Дробление известняка осуществляется в молотковых дробилках. Дробленый известняк поступает на вибрационный грохот, после чего надрешетный продукт крупностью 3—25 мм направляется в корпус обжига известняка, а подрешетный крупностью 0—3 мм — в корпус шихтовых бункеров. Обжиг известняка производится в вертикальных вращающихся печах типа ПОР.

Объемы аспирационного воздуха от укрытий, примыкающих к молотковым дробилкам, составляют 10—15 тыс. м³/ч. Запыленность воздуха достигает 30 г/м³. Для грохота известняка производитель-

ность отсоса составляет 10—15 тыс. м³/ч, запыленность при влажности 2—3% — 4 г/м³. При перегрузках известняка объем отсасываемого от укрытия конвейеров воздуха колеблется в пределах 3—6 тыс. м³ за 1 ч, запыленность 1—2 г/м³ для необожженного известняка и 2—5 г/м³ для обожженного известняка. Аспирационный воздух очищается на трактах обожженного известняка в сухих аппаратах, а на остальных — в мокрых пылеуловителях.

Агломерационная руда и концентрат без предварительной подготовки ленточными конвейерами загружаются в шихтовые бункера. В этом корпусе также размещаются бункера известняка и топлива. Бункера загружаются саморазгружающимися тележками. Компоненты шихты дозируются тарельчатыми питателями при выгрузке шихтовых материалов из бункеров на сборочные конвейеры.

Объемы аспирационного воздуха от бункеров выбираются из расчета 800 м³ за 1 ч на 1 м загрузочной щели. Производительность отсосов от укрытий тарельчатых питателей составляет 2 тыс. м³/ч. Концентрация пыли в аспирационном воздухе составляет 2 тыс. м³/ч. Концентрация пыли в аспирационном воздухе составляет для агломерационной руды 0,5 г/м³, для концентрата — 0,2 г/м³, для известняка 1—1,5 г/м³, для кокса 0,5—1 г/м³. Воздух очищается в мокрых пылеуловителях.

После дозировки шихтовые материалы перемешиваются. Принята двухстадийная схема смешивания и окомкования. На первой стадии осуществляется смешивание и частичное увлажнение шихты в барабанных смесителях (в двухвалковых корытных и роторных смесителях на фабриках окомкования), на второй — окончательное увлажнение и окомкование шихты в гладких барабанах или тарельчатых окомкователях (последние, как правило, применя-

ются на окомковательных фабриках). На агломерационных фабриках перед первичным смешиванием в шихту добавляется агломерационная мелочь — возврат. Системой конвейеров и питателей шихта загружается в агломерационную машину.

В корпусе смешивания шихты пыль образуется при работе смесителей, конвейеров, питателей, промежуточных бункеров. Концентрация пыли в аспирационном воздухе достигает 2—4 г/м³. Для очистки воздуха применяются мокрые пылеуловители с коагуляторами. Пылеуловители должны устанавливаться в непосредственной близости от аспирационных укрытий или на них.

После термической обработки шихты на спекательной машине образуется агломерат, который разгружается в одновалковую зубчатую дробилку и после дробления поступает на грохот, где происходит отсев мелочи — возврата. Надрешетный продукт разгружается в железнодорожные вагоны или поступает на чашевые или ленточные охладители. Возврат охлаждается водой в барабанных охладителях и затем системой ленточных конвейеров направляется в корпус первичного смешивания. На фабриках с высокопроизводительным оборудованием перед загрузкой шихты на спекательную машину укладывается постель из мелкого агломерата, который получают на грохотах в корпусах сортировки.

Аналогично осуществляется и производство окатышей. Сырые окатыши получают на чашевых (реже барабанных) окомкователях. Обжиг окатышей производится на конвейерных машинах агломерационного типа. Как правило, обжиговые машины работают с постелью, выделение которой, как и на агломерационных фабриках, производится в корпусах сортировки.

Тракты транспортировки, сортировки и погрузки агломерата и окатышей характеризуются наиболее интенсивным выделением пыли. Основными источниками пылевыведений являются спекательные и обжиговые машины (в основном разгрузочные части их), грохота, конвейеры, охладители, погрузочные бункера.

Объемы аспирационного воздуха составляют для разгрузочных частей спекательных и обжиговых машин 30—100 тыс. м³, для грохотов — 20—100 тыс., для барабанных охладителей воздуха — 15—30 тыс., для укрытий узлов загрузки конвейеров — 5—15 тыс. м³ за 1 ч. Производительность аппаратов отсоса воздуха от погрузочных панелей составляет при одноточечной загрузке (когда постоянно загружается только один вагон) 100—150 тыс. м³/ч, при многоточечной — 70—100 тыс. м³/ч на 1 вагон. Запыленность аспирируемого воздуха достигает 40 г/м³. Воздух очищается в высокоэффективных мокрых пылеуловителях с предварительной коагуляцией пыли и в электрофильтрах.

Основными источниками загрязнения окружающей среды на фабриках окускования являются технологические выбросы от спекательных и обжиговых машин, от линейных и чашевых охладителей агломерата и окатышей, от печей обжига известняка, а также аспирационные выбросы от укрытий пылящего оборудования.

Объем выбрасываемых за 1 ч газов от спекательной машины составляет 400—1000 м³ (большой объем выбрасываемых газов соответствует агломашине АКМ-250/312). Запыленность их перед очисткой достигает 2—5 г/м³. Для обжиговых машин объем выбрасываемых газов колеблется в пределах 500—2000 м³ за 1 ч, запыленность воздуха до очистки не превышает 2 г/м³.

Для чашевых охладителей агломерата диаметром 19 м количество отсасываемого воздуха составляет 350—370 тыс. м³ за 1 ч, а концентрация пыли в нем достигает 2,5 г/м³. Объем выбрасываемых от линейных охладителей агломерата газов достигает 300—1000 м³ за 1 ч, а запыленность — 20—100 г/м³. Выбросы от печей обжига известняка типа ПОР составляют 32—35 тыс. м³ за 1 ч, а запыленность отсасываемых газов перед очисткой достигает 5,0 г/м³. Технологические газы на фабриках окомкования очищаются в сухих пылеуловителях, в батарейных циклонах и в электрофильтрах.

Глава II

МЕХАНИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

К механическим относятся фильтры, в которых для улавливания пылевых частиц используются гравитационные и инерционные силы, явления молекулярной и турбулентной диффузии, а также эффект зацепления. Во ВНИИБТГ в содружестве с другими институтами и предприятиями разрабатывались различные типы таких фильтров: ударно-компенсационные, гравийные, уголковые, ударно-инерционные и тканевые.

Во всех этих фильтрах, кроме тканевых, в качестве рабочего тела используется вода. В ударно-инерционных пылеуловителях вода служит поверхностью, о которую ударяется поток запыленного воздуха, а в остальных вода диспергируется либо во время подачи ее в аппарат, либо потоком воздуха в самом аппарате. Во всех этих случаях имеет место

инерционный захват пыли неравномерно движущимися препятствиями (каплями). Часто диспергированная вода используется как единственное средство пылеподавления. Поэтому захват пыли отдельными неравномерно движущимися каплями, а также эффективность пылеулавливания водяными завесами надо рассматривать как один из основных процессов, протекающих в мокрых пылеуловителях.

1. ИНЕРЦИОННЫЙ ЗАХВАТ ПЫЛИ ВОДЯНЫМИ ЗАВЕСАМИ

Как известно [40], сила, действующая на шарообразную частицу (каплю) со стороны воздуха,

$$F = \psi \pi r^2 (\rho U^2 / 2), \quad (1)$$

где ψ — коэффициент лобового сопротивления; r — радиус капли; ρ — плотность воздуха; U — относительная скорость капли.

Величину ψ для значений $Re \leq 10^3$ с очень большой точностью можно выразить по формуле [40]

$$\psi = 24/Re + 4\sqrt{Re}, \quad (2)$$

где $Re = 2rU/\nu$ — число Рейнольдса; ν — кинематическая вязкость воздуха. Формулу (2) можно применять также и для $10^3 \leq Re \leq 1,4 \cdot 10^3$, но ошибка при этом достигает 10%.

С учетом выражений (1) и (2) уравнение движения капли в потоке при начальных условиях $t=0$, $U(t) = U_0$ имеет вид

$$U(t) = \frac{U_0 \exp\left(-\frac{9}{2} \frac{\mu}{\rho' r^2} t\right)}{\sqrt{\left\{1 + \frac{Re_0^{2/3}}{6} \left[1 - \exp\left(-\frac{3\mu}{\rho' r^2} t\right)\right]\right\}}}, \quad (3)$$

где μ — динамическая вязкость воздуха; ρ' — плотность капли; $Re_0 = 2rU_0/v$.

Как показано в работе [4], коэффициент захвата неподвижным препятствием

$$\varepsilon = m_k/m_\infty, \quad (4)$$

где m_∞ — масса частиц выбранной фракции, которые за единицу времени столкнулись бы с телом-препятствием, если бы они двигались по траекториям, параллельным оси невозмущенного потока; m_k — масса частиц этой же фракции, которые действительно столкнулись с телом-препятствием (будем считать, что каждое столкновение является эффективным).

Для движущегося препятствия (капли) выражение (4) нужно понимать как мгновенное значение коэффициента захвата $\varepsilon(t)$. Тогда за все время t существования капли в потоке средний коэффициент захвата

$$E = \int_0^t U(t) \varepsilon(t) dt / \int_0^t U(t) dt. \quad (5)$$

Известно [38], что мгновенное значение коэффициента захвата для тела сферической формы

$$\varepsilon(t) = [Stk(t)]^2 / [Stk(t) + 0,125]^2, \quad (6)$$

где $Stk(t)$ — мгновенное значение критерия Стокса. В свою очередь,

$$Stk(t) = \frac{1}{18} \frac{r_a^2 \rho_a U(t)}{r\mu}, \quad (7)$$

где r_a — радиус частиц пыли; ρ_a — плотность частиц пыли. Формула (6) справедлива для случая, когда $\Phi = Re^{*2}/2Stk(t) \approx 0$, где Re^* — локальный критерий Рейнольдса для частицы.

Критерий $Stk(t)$ как функцию времени можно найти, подставив в выражение (7) значение $U(t)$ из формулы (3)

$$Stk(t) = \frac{Stk_0 \exp\left(-\frac{9}{2} \frac{\mu}{\rho' r^2} t\right)}{\sqrt{\left\{1 + \frac{Re_0^{2/3}}{6} \left[1 - \exp\left(-\frac{3\mu}{\rho' r^2} t\right)\right]\right\}^3}}, \quad (8)$$

где $Stk_0 = \frac{1}{18} \frac{r_a^2 \rho_a U_0}{r \mu}$.

После подстановки выражений (3), (6) и (8) в формулу (5), замены переменной интегрирования t на x по формуле $x = \exp\left(-\frac{9}{2} \frac{\mu}{\rho' r^2} t\right)$ и последующего численного интегрирования на ЭВМ «Мир-1» для различных значений $0 \leq Re \leq 1400$ и $Stk \geq 0,5$, а также для различных значений нижнего предела интегрирования x

$$E = Stk_0^2 / [Stk_0 + 0,125 + y]^2, \quad (9)$$

где y — некоторая функция от Re , Stk_0 и x .

Анализ зависимости $y = f(Stk_0)$ для различных значений Re_0 и x показал, что она хорошо аппроксимируется функцией вида

$$y = y_0 \left[1 - \exp\left(-\frac{k_0}{y_0} Stk_0^{n_0}\right)\right] \quad (10)$$

для $1 > x > 0$ и функцией

$$y = k_0 Stk_0^{n_0} \quad (11)$$

для $x=0$.

В этих формулах y_0 , k_0 и n_0 — функции безразмерных параметров Re_0 и x :

$$y_0 = -(0,075 + 0,0093 \sqrt[3]{Re_0}) \ln x; \quad (12)$$

$$k_0 = 0,213 + 0,022 \sqrt[3]{\text{Re}_0}; \quad (13)$$

$$n_0 = 0,280 + 0,012 \sqrt[3]{\text{Re}_0}. \quad (14)$$

Очевидно, эффективность улавливания пыли без учета эффекта зацепления водяной завесой

$$\eta = Q'E, \quad (15)$$

где Q' — объем воздуха, прошедшего через суммарное сечение капель, находящихся в единице объема воздуха. В свою очередь,

$$Q' = S_k \int_0^t U(t) dt, \quad (16)$$

где S_k — суммарная площадь миделева сечения капель в единице объема очищаемого воздуха.

Если в выражении (16) подставить значение $U(t)$ из формулы (3) и проинтегрировать численно, то полученные результаты хорошо аппроксимируются выражением

$$Q' = \frac{M_b \text{Re}_0}{12\rho} (1-x) \exp(-0,213 \sqrt[3]{1-x} \sqrt[3]{\text{Re}}), \quad (17)$$

где M_b — расход воды на 1 м³ очищаемого воздуха.

Для крупной пыли, когда необходимо учитывать эффект зацепления, формула (15) примет вид

$$\eta = Q' \left(\frac{r + r_a}{r} \right)^3 E. \quad (18)$$

Следует также отметить, что формулы (15) и (18) справедливы в том случае, когда $S_k \leq 1$ и $Q' \leq 1$.

Полученные формулы позволяют рассчитывать эффективность улавливания пыли водяными завесами. В дальнейшем мы покажем, как они могут быть использованы для анализа и расчета процессов, протекающих в мокрых фильтрах.

2. УДАРНО-КОМПЕНСАЦИОННЫЕ ФИЛЬТРЫ

Относительная влажность воздуха в подземных выработках железорудных шахт вследствие их значительной обводненности повсеместно составляет 100%. Небольшое снижение температуры насыщенного воздуха ведет к конденсации влаги, ядрами для которой служит мелкодисперсная рудничная пыль. Используя эффект конденсации в подземных выработках, можно укрупнить мелкодисперсную пыль и осадить ее в сравнительно простых фильтрах. С этой целью рассмотрим термодинамику воздуха по пути движения его в подземных выработках.

Температура воздуха при движении по подземным выработкам изменяется в зависимости от температуры окружающих горных пород, причем это происходит в основном в воздухоподающем стволе. Если сезонные колебания температуры в Кривбассе на поверхности составляют $\pm 35^{\circ}\text{C}$, то на эксплуатационных горизонтах (глубина 600—700 м), куда подается большое (до $200\text{ м}^3/\text{с}$) количество воздуха, колебания составляют $\pm 6^{\circ}\text{C}$. Характерно, что в летний период, при повышенной температуре воздуха, поступающего в шахту, интенсивное его охлаждение до температуры окружающего массива происходит в стволе и на главном квершлагае. В зимний период воздух до средней температуры по горизонту подогревается замедленно и принимает температуру окружающих горных пород только в тупиковых забоях или на подэтажах очистных блоков. Объясняется это низким влагосодержанием воздуха в зимний период и испарением влаги при движении по подземным выработкам, на что расходуется дополнительное тепло. Среднегодовая температура в околоствольном дворе будет меньше температуры пород на данном горизонте. Для шахт Кривбасса

$$t_{\text{ср.о}} = t_{\text{п}} + GH - 0,002H,$$

где $t_{\text{ср.о}}$ — среднегодовая температура воздуха в околоствольном дворе, °С; $t_{\text{п}}$ — среднегодовая температура почвы в данном районе (принимается по климатическим справочникам для Кривбасса 10°С); G — геометрический градиент, равный для Кривбасса 0,01°С/м; H — глубина ведения горных работ, м.

При разветвленной сети подземных выработок на добычном горизонте и небольшом количестве (оптимальная скорость 0,5 м/с) воздуха, проходящего по каждой из очистных выработок, температура его, как показали расчеты и фактические замеры, практически равна температуре окружающих горных пород. Следовательно, в очистных забоях, равно как и в тупиковых выработках вскрываемых и подготавливаемых горизонтов, температура воздуха практически равна температуре горных пород. Более того, выравнивание температуры воздуха до температуры горных пород на очистном горизонте происходит в основных откаточных выработках (штреках и ортах-заездах). Это же относится и к тупиковым выработкам вскрываемых и подготавливаемых горизонтов, где даже в руддворе сезонные колебания температуры воздуха не превышают $\pm 2^\circ\text{С}$. В этих случаях $t = t_{\text{п}} + GH$.

Таким образом, при опускании воздуха в подземные выработки температура его повышается пропорционально глубине. При подъеме воздуха по вертикальным стволам и восстающим выработкам температура его снижается. Снижение температуры воздуха, насыщенного водяными парами, приводит к пересыщению и конденсации влаги.

Теоретические расчеты, подтвержденные экспериментально, показали, что количество конденсата (г/м³), образующегося при подъеме рудничного воздуха по вертикальным выработкам,

$$\rho_k = \rho_{n_0} \left[\frac{4,2 \cdot 10^3 q}{BT_0} \beta - \left(\frac{4,2 \cdot 10^3 q R}{v} + f \right) \frac{\varepsilon^2}{R} \right] h,$$

где ρ_{n_0} — влажность воздуха на вентиляционном горизонте, г/м³; q — теплота парообразования (конденсации), Дж/кг; $B=460,47$ м²/(с²·К) — газовая постоянная; T_0 — температура воздуха на вентиляционном горизонте, равная температуре окружающих пород, К; $\beta = (T_0 - T)/T_0 h$, 1/м; T — температура воздуха на выбросе вентилятора главного проветривания, К; R — радиус выработки (ствол, восстающий), м; v — скорость движения воздуха, м/с; $f = \tau/(\rho - v^2/2)$ — безразмерный коэффициент трения; τ_0 — касательное напряжение у стенки выработки; ρ — плотность воздуха, г/м³; $\varepsilon = v^2/BT$ — бесконечно малый параметр; h — высота подъема воздуха (глубина вентиляционного горизонта), м.

При глубине ствола 1000 м, диаметре его 6 м, скорости движения воздуха 8 м/с, когда температура воздуха на этой глубине составляет 293,16 К (20° С), а влагосодержание равно 17,3 г/м³, температура на выбросе вентилятора главного проветривания $T = 293,16 - 0,68 \cdot 10^{-2} h$, а количество конденсата $\rho_k = 0,380 \cdot 10^{-2} h$.

Таким образом, температура воздуха при подъеме его по вертикальной выработке с указанными выше параметрами уменьшится в среднем на 0,68° С на каждые 100 м, а количество сконденсировавшейся при этом влаги составит 0,380 г/м³.

Если все сконденсировавшееся количество влаги пойдет на укрупнение пыли, то

$$\rho_k = \frac{\pi}{6} (D_k^3 - D_n^3) C \rho_v,$$

где C — число пылинок в 1 см³; $\rho_v = 1$ г/см³ — плотность воды; D_n — начальный размер пылинок,

см; $D_k = \sqrt[3]{D_n^3 + \frac{6\rho_k}{\pi C} 10^{12}}$ — диаметр пыли, укрупненной за счет конденсации влаги, см.

Практически замеры в шахте показали, что количество капельножидкой влаги (конденсата) и его дисперсность на первых 100 м почти соответствует теоретическому расчету, а для больших расстояний конденсационный рост несколько замедляется. Это происходит, по-видимому, по двум причинам: во-первых, активная конденсация идет только на мелкой пыли (1—2 мкм) и значительно замедляется на пыли более 10 мкм, что согласуется с существующей теорией естественного осадкообразования [2]. Во-вторых, капли размером более 10 мкм частично осаждаются или дробятся при попадании на стенки, армировку ствола и подъемные сосуды. Следовательно, для расчетов инерционного осаждения конденсата следует принимать размер частиц 5—10 мкм. Скорость движения воздуха должна быть принята согласно Единым правилам безопасности (ЕПБ) не более 15 м/с.

Из возможных вариантов конструкций инерционных пылеуловителей наиболее рациональными оказались пылеосадители экранного типа, лучшими из которых являются параллельные пластины, установленные под определенным углом к набегающему потоку. Основным рабочим параметром такого пылеосадителя является ширина пластины, открытая навстречу потоку запыленного воздуха, на которой осаждаются аэрозоли. Эту величину для одиночной пластины в случае потенциального обтекания с отрывом струи (кирхгофское обтекание) можно определить, как это рекомендует Л. М. Левин [16], найдя критическое число Стокса

$$k_{кр} = \rho_s d^2 v / 18 \mu l,$$

где ρ_v — плотность частицы (капля воды); μ — вязкость воздуха; d — диаметр частицы; v — скорость воздуха; l — ширина препятствия.

При условии, что ширина пластины по отношению к ширине канала, в котором она находится, $l/L=0,13$, $k_{кр}$ можно вычислить по формуле $k_{кр} = 2L \operatorname{tg}^2 \gamma / \pi \operatorname{tg}^2 2\gamma$, где L и l выражены в одних единицах; γ является корнем трансцендентного уравнения

$$\frac{l}{L} = 1 - \operatorname{tg} \gamma \left(1 + \frac{2}{\pi} \frac{2\gamma}{\operatorname{tg}^2 \gamma} \right).$$

Если $l/L=0,13$, то $\gamma=0,575$, а $k_{кр}=0,384$. Следовательно, ширина пластины (мм), на которой будут осаждаться капли конденсата крупнее 5 мкм,

$$2l = \rho_v d^2 v / 18\mu \cdot 0,384 = 1 \cdot 5 \cdot 15 / 18\mu \cdot 0,384 = 5. \quad (19)$$

Такая ширина пластины получена для условий симметричного потока. В. М. Волощуком [4] теоретически доказано, что критический режим существует также для несимметричных потоков. Это позволяет использовать зависимость (19) для таких условий. Критическим значением можно пользоваться и в случае конечного ряда асимметричных потоков.

Следовательно, для осаждения конденсата размером 5—10 мкм при набегающем воздухе со скоростью 15 м/с на пластинчатую решетку, установленную под углом к потоку, рабочая ширина пластины должна составлять не более 5 мм. Для соблюдения этих условий пластинчатая решетка должна быть установлена под углом 20° к потоку, расстояние между пластинами должно быть не более 20 мм. В этом случае набегающий поток на пластину происходит при скорости 15 м/с, а скорость дальнейшего движения по каналам вдоль пластин снижается в три раза и составляет не более 5 м/с. При такой скорости осевший на пластинах конденсат не уно-

сится воздушным потоком, а стекает вниз. Для лучшего стока шлама по поверхности пластин целесообразно сделать полупараболические выемки [43].

Таким образом, используя эффект конденсации влаги на тонкодисперсной пыли и инерционные силы, можно уловить конденсат крупностью 5—10 мкм.

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что распределение воздуха по каналам пластинчатой решетки крайне неравномерно. Достичь равномерного распределения воздуха можно, создав равномерное давление на выходе из решетки путем оборудования компенсационной камеры. Экспериментально установлено, что для равномерного распределения воздуха длина камеры должна быть равной или больше ширины пластинчатой решетки. Общее аэродинамическое сопротивление пластинчатой решетки и компенсационной камеры составило 180 Па, а коэффициент местного сопротивления оказался равным 3,5—3,8, что подтвердило теоретические исследования. Такой фильтр (рис. 1) получил наименование ударно-компенсационного (УКФ).

Компенсационная камера размером $9,3 \times 4,5 \times 10$ м имеет толщину бетонных стенок 200 мм. Пластинчатая решетка со-

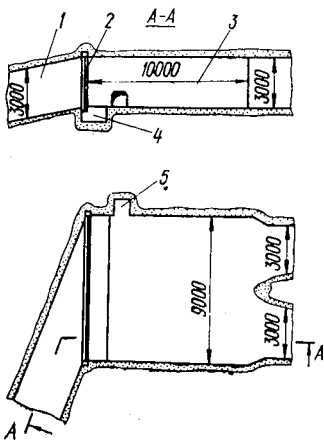


Рис. 1. Схема ударно-компенсационного фильтра:

1 — вентиляционный канал; 2 — пластинчатая решетка; 3 — компенсационная камера; 4 — шламосборник; 5 — камера шламонасоса.

брана из 36 секций размером 1500×750 мм. Каждая секция состоит из сварного металлического каркаса и 34 пластин размером $740 \times 100 \times 2$ мм с расстоянием между ними 20 мм. Пластины прикреплены к каркасу электросваркой, а секции между собой и с металлическим поясом, расположенным по периметру выработок, соединены болтами. Стекающий с пластин шлам собирается в шламособорнике и насосом, расположенным ниже, удаляется в канализационную сеть. Как показали лабораторные и промышленные исследования, эффективность пылеулавливания составляет 75%. Многолетняя эксплуатация фильтра на рудниках Кривбасса показала его экономичность, надежность, простоту и достаточную эффективность. Фильтр надежно предохраняет от коррозии и повреждений вентилятор главного проветривания.

3. ГРАВИЙНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Гравийные фильтры [3; 6] предназначены для очистки аспирационного воздуха и технологических газов от пыли и растворимых в воде вредных газов.

Пыль в гравийном фильтре улавливается в результате инерционного осаждения частиц аэрозоля на элементах фильтрующего материала при движении запыленного воздуха (газа) через фильтрующий слой. На эффективность улавливания пыли в гравийном фильтре влияют процессы конденсации водяных паров вокруг пылинок как центров конденсации, имеющих в поступающем на очистку воздухе (газе), термодиффузионные силы, а также интенсивное орошение воздуха (газа) при его прохождении через фильтр.

Гравийные фильтры могут быть применены для улавливания нецементирующихся или слабоцемен-

тирующихся пылей, образующихся при различного рода технологических процессах во всех отраслях промышленности. Они устанавливаются в местах, где вода в зимнее время не замерзает. В том случае, когда на очистку поступают горячие газы, допускается размещение фильтров на открытом воздухе.

Гравийный фильтр представляет собой аппарат коробчатой формы (рис. 2). Корпус 1 фильтра изготовлен из листовой стали толщиной до 5 мм. Каркас корпуса выполнен из швеллеров, размеры которых рассчитываются в зависимости от размеров фильтра и связанных с этим нагрузок. Для укладки фильтрующего 3 и каплеулавливающего 6 слоев применяются грохотные сетки 2 и 5 с размером отверстий 10×10 или 12×12 мм. Коллектор 7 и патрубки 8, 9 сделаны из листовой стали толщиной до 5 мм.

Рекомендуемые конструктивные размеры фильтров в зависимости от площади фильтрующего слоя приведены в табл. 1.

В случае очистки в гравийном фильтре газов, содержащих агрессивные компоненты, должны быть применены специальные стали или предусмотрена антикоррозионная защита металлоконструкций фильтра.

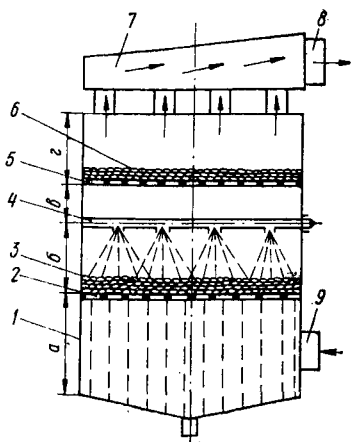


Рис. 2. Схема гравийного фильтра.

Конструктивные размеры гравийных фильтров

Номер аппарата	Производительность, м ³ /ч	Площадь фильтрующего слоя, м ²	Размер камеры (рис. 2), мм			
			а	б	в	г
1	3500	1	400	600	150	600
2	7000	2	450	650	200	600
3	10 000	3	500	700	200	1000
4	13 500	4	600	1000	350	1000
5	17 000	5	600	1000	350	1000
6	20 000	6	800	1300	350	1300
7	24 000	7	1000	1400	400	1400
8	28 000	8	1000	1400	400	1400
9	32 000	9	1000	1400	400	1400
10	35 000	10	1000	1400	400	1400
11	39 000	11	1000	1400	400	1400
12	42 000	12	1200	1600	400	1600
13	45 000	13	1200	1600	400	1600
14	48 000	14	1200	1600	400	1600
15	51 000	15	1200	1600	400	1600
16	55 000	16	1200	1600	400	1600
17	58 000	17	1200	1600	400	1600
18	61 000	18	1200	1600	400	1600
19	64 000	19	1200	1600	400	1600
20	67 000	20	1200	1600	400	1600
21	70 000	21	1200	1600	400	1600
22	73 000	22	1200	1600	400	1600
23	76 000	23	1200	1600	400	1600
24	79 000	24	1200	1600	400	1600
25	82 000	25	1200	1600	400	1600
26	85 000	26	1200	1600	400	1600
27	88 000	27	1200	1600	400	1600
28	91 000	28	1200	1600	400	1600
29	94 000	29	1200	1600	400	1600
30	100 000	30	1400	1600	400	1600
31	105 000	31	1400	1600	400	1600
32	110 000	32	1400	1600	400	1600
33	115 000	33	1400	1600	400	1600

Номер аппарата	Производительность, м³/ч	Площадь фильтрующего слоя, м²	Размер камеры (рис. 2), мм			
			а	б	в	г
34	120 000	34	1400	1600	400	1600
35	125 000	35	1400	1600	400	1600
36	130 000	36	1400	1600	400	1600
37	135 000	37	1400	1600	400	1600
38	140 000	38	1400	1600	400	1600
39	145 000	39	1400	1600	400	1600
40	150 000	40	1400	1600	400	1600

Путем многочисленных стендовых исследований эффективности пылеулавливания в гравийных гидрофилтрах и проверок выводов, полученных в результате этих исследований в промышленных условиях, было установлено, что эффективность работы гравийных фильтров весьма высокая и зависит от скорости набегающего потока воздуха (газа), крупности гравия и толщины фильтрующего слоя. Многолетний опыт эксплуатации фильтров в условиях фабрики окомкования ЦГОКа показал, что оптимальными удельными нагрузками на фильтрующую поверхность потока являются 3400—3800 м³/(ч·м²), хотя эти нагрузки и связаны с максимальными значениями сопротивления фильтрующего слоя. Эффективность пылеулавливания при этих удельных нагрузках в зависимости от толщины слоя и крупности гравия приведена в табл. 2.

Для случаев других скоростей фильтрации эффективность улавливания пыли в гравийных гидрофилтрах

$$\eta = 1 - d_{cp}/(av_{y,ф} + c \sqrt{h}), \quad (20)$$

где d_{cp} — среднегеометрический диаметр гравия, м;
 $v_{y,ф}$ — условная скорость фильтрации, м/с; h — вы-

Таблица 2

Эффективность пылеулавливания в гравийных гидрофилтрах при удельных нагрузках на фильтрующую поверхность 3400—3800 м³/(ч·м²)

Крупность гравия, мм	Эффективность пылеулавливания, %, при толщине фильтрующего слоя, мм			
	50	100	150	200
10—15	99,1	99,2	99,5	99,8
15—20	99,0	99,1	99,3	99,5
20—25	98,8	98,9	99,0	99,2
25—30	98,5	98,7	98,9	99,0
30—40	98,0	98,2	98,4	98,4

сота фильтрующего слоя, м; $a=1,4$, $c=2,08$ м^{1/2} — эмпирические коэффициенты.

Среднегеометрическая крупность гравия

$$d_{ср} = \sqrt{d_1 d_2},$$

где d_1 и d_2 — соответственно минимальный и максимальный диаметры фракций, входящих в фильтрующий слой.

Условная скорость фильтрации

$$v_{у.ф} = Q_{уд}/3600F,$$

где $Q_{уд}$ — удельная нагрузка на фильтрующий слой, м³/(ч·м²).

Сопротивление фильтрующего слоя зависит от крупности гравия, толщины слоя, условной скорости фильтрации, а также от расхода воды, подаваемой системой регенерирующего орошения 4.

Лабораторные исследования показали, что в зависимости от условной скорости фильтрации сопротивление изменяется неравномерно, а в предельной области имеет место переход от плавного изменения к более интенсивному, причем для различных круп-

ностей гравия существует своя критическая скорость фильтрации, при которой осуществляется переход. Критическая скорость

$$v_{кр} = 0,9 (1 - e^{-83d_{кр}}). \quad (21)$$

В зависимости от скорости фильтрации, крупности гравия, толщины слоя сопротивление фильтрующего слоя можно определить из следующих выражений:

в области докритических скоростей

$$\Delta P = 10,5h v_{у.ф}^2 / \sqrt{d_{кр}^3} + 536 (m^2 - 0,176), \quad (22)$$

в области сверхкритических скоростей

$$\Delta P = (h / \sqrt{d_{кр}^3}) (37,4 v_{у.ф}^2 - 11,2) + 536 (m^2 - 0,176), \quad (23)$$

где ΔP — сопротивление фильтрующего слоя, Па; h — высота слоя, м; m — расход воды на орошение, кг/(м²·с); $v_{у.ф}$ — условная скорость фильтрации, м/с.

Сопротивление каплеулавливающего слоя определяется из выражений:

в области докритических скоростей

$$\Delta P = 10,5h v_{у.ф}^2 / \sqrt{d_{кр}^3}, \quad (24)$$

в области сверхкритических скоростей

$$\Delta P = (h / \sqrt{d_{кр}^3}) (37,4 v^2 - 11,2). \quad (25)$$

Для уменьшения сопротивления фильтрующего слоя рекомендуется принимать крупность гравия 25—30 мм и толщину слоя 50—60 мм.

На основании результатов лабораторных исследований, изложенных выше, разработана методика расчета гравийных гидрофильтров. Исходными данными в настоящей методике, как и при расчете других пылеулавливающих аппаратов, являются количество воздуха, подлежащего очистке, Q (м³/ч), исходная запыленность воздуха, поступающего на

очистку, $A_{\text{вх}}$ (мг/м³) и допускаемая запыленность воздуха на выходе из аппарата, $A_{\text{вых}}$ (мг/м³).

Необходимую эффективность очистки воздуха от пыли определяют по формуле

$$\eta = \frac{A_{\text{вх}} - A_{\text{вых}}}{A_{\text{вх}}} 100. \quad (26)$$

Зная, что эффективность работы фильтра обратно пропорциональна средней крупности гравия $d_{\text{ср}}$, прямо пропорциональна условной скорости фильтрации и высоте фильтрующего слоя, принимают две из этих величин. Из соображения уменьшения габаритов фильтра в плане, а следовательно, и уменьшения удельных капитальных затрат на строительство фильтра скорость фильтрации принимают близкой к высшему пределу, полученному при исследованиях (0,5—1,1 м/с). Но так как при эксплуатации фильтра может возникнуть необходимость увеличения его производительности, скорость фильтрации принимаем несколько ниже верхнего предела, т. е. меньше 1,1 м/с. Рекомендуемая условная скорость фильтрации $v_{\text{у.ф}}$ равна 0,95—1 м/с.

Исходя из требуемой эффективности и руководствуясь данными табл. 2, принимаем необходимую крупность гравия. При этом следует учитывать, что с увеличением крупности гравия уменьшается сопротивление фильтрующего слоя.

Приняв условную скорость фильтрации и крупность гравия, а также определив по формуле (26) требуемую эффективность очистки, из формулы (20) найдем необходимую высоту фильтрующего слоя:

$$h = [d_{\text{ср}} - (\eta - 1) a v_{\text{у.ф}} / (\eta - 1) c]^2.$$

По принятой условной скорости фильтрации и требуемой производительности установки определяют необходимую площадь фильтрующего слоя: $F = Q / 3600 v_{\text{у.ф}}$.

Для принятой нами крупности гравия по формуле (21) определяем критическую скорость фильтрации. В зависимости от величин критической скорости, принятой условной скорости фильтрации и расхода воды по формуле (22) или (23) определяют величину сопротивления фильтрующего слоя. По формуле (24) и (25) находят сопротивление каплеулавливающего слоя. После определения сопротивления слоев по общеизвестным методикам подсчитывают потери давления в коллекторных устройствах. Просуммировав сопротивления фильтрующего и каплеулавливающего слоев коллекторной системы и сети подводящих и отводящих воздухопроводов, получают общее сопротивление установки, которое должно быть преодолено вентилятором. По известному напору и производительности подбирают необходимый вентилятор.

4. СКРУББЕРЫ, ЦИКЛОНЫ, ТРУБЫ ВЕНТУРИ

Мокрая очистка воздуха от пыли широко используется в горнорудной промышленности. Из большого разнообразия различных конструкций мокрых фильтров можно выделить циклоны-промыватели СИОТ, пленочные циклоны ЛИОТ и скрубберы Всесоюзного теплотехнического института (ВТИ).

В скруббере ВТИ (рис. 3) воздушный поток со скоростью 15—25 м/с тангенциально входит в цилиндр 5 через патрубок 7. На фартук 1, установленный в верхней части цилиндра, по всему периметру корпуса с помощью оросительной системы 2 подается вода. Ударившись о фартук, вода в виде брызг попадает на стенки корпуса, образуя пленку. Частицы пыли, содержащиеся в загрязненном потоке, за счет центробежных сил прижимаются к стенкам скруббера и вместе с пленкой воды стекают вниз.

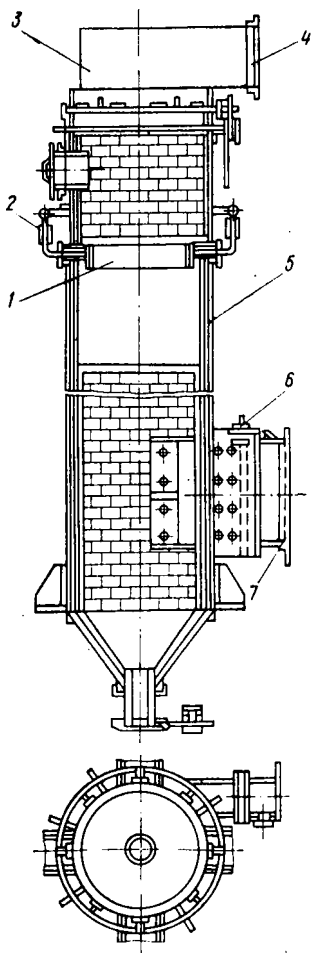


Рис. 3. Скруббер ВТИ.

Шлам удаляется через гидрозатор. Очищенный от пыли воздух через улитку 3 и отводящий патрубок 4 с помощью вентилятора выбрасывается в атмосферу. На стенках патрубка 7, на границе между сухим запыленным воздухом и зоной водяного тумана, откладывается пыль, которая смывается приспособлением 6.

Гидравлическое сопротивление скруббера — 800—900 Па. Расход воды составляет 0,2—0,5 л на 1 м³ очищаемого воздуха. Степень очистки в зависимости от дисперсного состава, скорости воздуха и размеров цилиндрической части изменяется от 86 до 99%. Значения фракционной эффективности очистки воздуха в скруббере ВТИ диаметром 1 м представлены в табл. 3 [32].

Циклон с водяной пленкой ЦВП-ЛИОТ (рис. 4) рекомендуется для средней очистки воздуха от пыли [39]. Корпус 2 циклона выполнен в виде вертикального цилиндра из листовой стали.

По внутренней поверхности циклона непрерывно стекает пленка воды, которая подается через сопла по резиновым шлангам, присоединенным к кольцевому коллектору 4. Подводящий прямоугольный патру-

Таблица 3

Фракционная очистка газа в скруббере диаметром 1 м

Скорость газа во вход- ном патруб- ке, м/с	Крупность фракции						
	0—0,5	0,5—2	2—5	5—10	10—15	15—20	20
	Степень очистки по фракции, %						
15,0	65,5	80,0	88,0	91,0	92,7	94,0	98,0
16,0	71,3	83,0	89,2	91,5	93,2	94,5	98,0
17,0	75,7	85,2	90,0	92,0	93,7	95,0	98,5
18,0	78,8	86,7	91,0	92,7	94,0	95,4	98,5
19,0	81,4	88,2	91,5	93,2	94,5	95,8	99,0
20,0	83,3	89,5	92,3	93,7	95,0	96,3	99,0
21,0	85,0	90,3	92,8	94,3	95,5	96,7	99,5
22,0	86,2	91,0	93,3	94,8	95,8	97,0	99,5
23,0	87,4	91,6	93,7	95,3	96,4	97,6	100,0
23,5	87,7	91,8	94,0	95,5	96,6	97,8	100,0

бок 1 вмонтирован тангенциально к цилиндру в нижней его части. Очищенный воздух отводится из верхней части корпуса через патрубок 3, установленный по ходу воздушного потока. Внизу цилиндрический корпус переходит в конусный бункер 5, снабженный гидрозатвором для удаления шлама. Расход воды на орошение циклонов с водяной пленкой составляет 0,13—0,3 кг/м³, гидравлическое сопротивление — 400—800 Па. Ленинградский институт охраны труда разработал циклоны производительностью от 1250 до 10 000 м³/ч (табл. 4) [15].

Циклон-промыватель СИОТ (рис. 5) представляет собой проточный мокрый пылеотделитель,

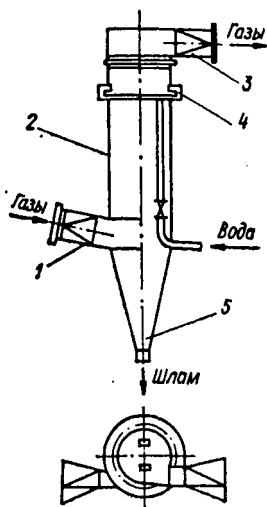


Рис. 4. Циклон с водяной пленкой ЦВП-ЛИОТ.

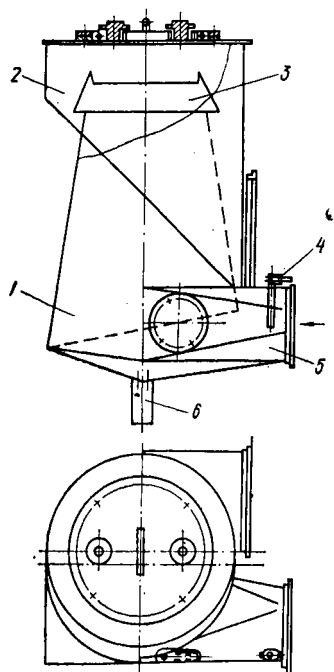


Рис. 5. Циклон-промыватель СИОТ:

1 — корпус; 2 — раскручиватель;
3 — днище водораспределителя;
4 — водоподводящая труба; 5 —
патрубок для входа воздуха;
6 — сливной спускной патрубок.

в котором в отличие от циклонов с водяной пленкой отделение пыли из воздуха происходит не только за счет центробежных сил, но и за счет захвата пылевых частиц каплями, образующимися в нижней части пылеуловителя вследствие увлечения части воды

воздушным потоком. Подвод воды осуществляется трубкой с мелкими отверстиями. Сопротивление циклона при скорости входа воздуха 15—21 м/с изменяется соответственно от 450 до 900 Па. В табл. 5

Таблица 4

Основные размеры пылеуловителей ЦВП-ЛИОТ, мм

Марка циклона	Размеры циклона		Размеры патрубка		Масса, кг
	Диаметр	Высота	Ширина	Высота	
ЦВП-3	315	2434	110	195	63,9
ЦВП-4	400	3014	140	250	106,7
ЦВП-5	500	3684	175	310	161,0
ЦВП-6	630	4554	220	390	237,0
ЦВП-8	800	5699	280	495	369,7
ЦВП-10	1000	7044	350	620	569,5

Таблица 5

Техническая характеристика циклонов-промывателей СИОТ

Номер циклона	Производительность, м³/с, при скорости воздуха во входном патрубке, м/с			Расход воды, дм³/с, при скорости воздуха во входном патрубке, м/с		
	15	18	21	15	18	21
1	0,7	0,8	1,0	0,045	0,034	0,028
2	1,2	1,4	1,6	0,075	0,050	0,045
3	1,8	2,2	2,5	0,110	0,078	0,067
4	2,7	3,1	3,6	0,170	0,110	0,095
5	3,7	4,4	5,2	0,230	0,160	0,140
6	5,2	6,2	7,3	0,330	0,220	0,180
7	7,4	8,9	10,0	0,450	0,320	0,270
8	10,0	12,0	15,0	0,660	0,450	0,380
9	15,0	18,0	21,0	0,930	0,640	0,540
10	21,0	25,0	29,0	1,310	0,900	0,760
11	30,0	35,0	41,0	1,860	1,270	1,080
12	42,0	50,0	53,0	2,620	1,800	1,520

приведены технические данные циклонов-промывателей СИОТ [24].

Исследования, проведенные на горнообогатительных комбинатах, показали, что эффективность обеспыливания в циклонах СИОТ диаметром 1900 мм и в пленочных циклонах ЛИОТ диаметром 800—1000 мм одинакова и составляет 92,6%. Сравнением массы и основных размеров пылеуловителей при одинаковой производительности установлено, что отношение масс циклона-промывателя, пленочного циклона и пенного аппарата составляет 1 : 2,0 : 2,6, а отношение основных размеров 1 : 1,3 : 1,6. Поэтому из мокрых пылеуловителей предпочтение отдается циклонам-промывателям с коническим корпусом [24].

Многолетний опыт эксплуатации мокрых циклонов и скрубберов на горнорудных предприятиях показывает, что степень очистки в них не превышает 95%. Особенно плохо улавливаются фракции пыли менее 10 мкм. Для повышения эффективности пылеулавливания на предприятиях все шире используется способ предварительной коагуляции пылевых частиц.

В последние годы получили распространение скоростные газопромыватели — трубы Вентури, которые состоят из конфузора, горловины и диффузора.

Из многообразия скоростных газопромывателей можно выделить конструкции цилиндрических труб Вентури, нормализованных НИИОгазом и Гипрогазоочисткой, прямоугольных регулируемых труб Вентури, разработанных во ВНИПИчерметэнергоочистке. В горнорудной промышленности в основном применяются цилиндрические трубы Вентури.

Скорость газов в горловине выбирается с учетом дисперсного состава пыли, подлежащей улавливанию. Высокая эффективность улавливания частиц

размером около 1 мкм может быть достигнута лишь при скорости газов примерно 100—150 м/с. Для эффективного улавливания пыли на горнорудных предприятиях достаточно иметь скорость воздушного потока в горловине 40—70 м/с.

Проведенные исследования [17] позволили найти зависимость коэффициента гидравлического сопротивления трубы-коагулятора, отнесенного к скоростному давлению в горловине, от количества подаваемой воды:

$$\zeta_k = \zeta_{\text{сух}} + 0,433 (1 + 2m) \lg (1 + 10m),$$

где $\zeta_{\text{сух}}$ — коэффициент сопротивления трубы при сухом режиме; m — удельный расход воды, л/м³.

При расходе воды выше 0,34 л/м³ и начальных концентрациях пыли более 1 г/м³ степень очистки составила 99,5%.

Испытания [17] пылеочистой установки (рис. 6) на аглофабрике позволили определить следующие оптимальные параметры: расход воды 0,35 г/м³, производительность аппарата 87 000 м³/ч, скорость в горловине 64 м/с, а потери давления 2,1 кПа.

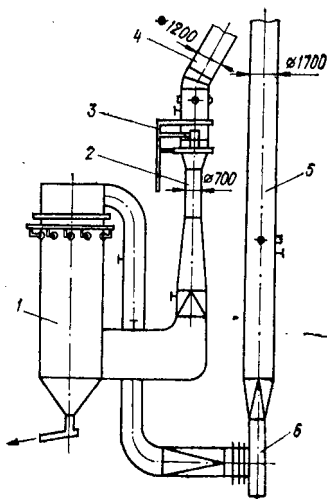


Рис. 6. Схема установки трубы-коагулятора с центробежным скруббером:

1 — центробежный скруббер диаметром 2600 мм; 2 — труба-коагулятор; 3 — подвод воды на орошение трубы; 4 — подвод запыленного воздуха; 5 — выбросная труба; 6 — дымосос D-18 ($n=590$ об/мин) с направляющим аппаратом.

Спроектированные Промстройпроектом (Ленинград) установки с успехом эксплуатируются на Соколовско-Сарбайском горнообогатительном комбинате.

Наиболее полная информация по расчету труб Вентури, схемам подачи воды и их конструкциям представлена в работах [33; 39].

5. УГОЛКОВЫЕ КОАГУЛЯТОРЫ

На горнообогатительных комбинатах Кривбасса широко применяются орошаемые водой двойные уголковые решетки-коагуляторы. Такие коагуляторы устанавливаются на входе в мокрый пылеуловитель и отличаются простотой и надежностью в работе. Схемы уголковой решетки-коагулятора и ее установки в подводящем газоходе приведены на рис. 7.

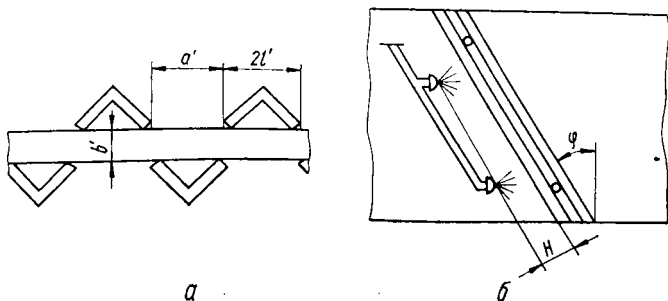


Рис. 7. Схемы:

a — уголковой решетки-коагулятора; *б* — ее установки в подводящем газоходе.

Метод расчета уголковых коагуляторов разработан на основе теоретических, лабораторных и промышленных исследований, проведенных во ВНИИБТГ и на ГОКах Кривбасса.

При расчете уголковых коагуляторов [30] следует принять, что коагуляция пыли с каплями воды происходит в основном за счет инерционных сил; расчет эффективности коагуляции делится на этапы, соответствующие явлениям, которые протекают на уголковых решетках; в качестве расчетного размера принимается средний диаметр капель, которые могут существовать в потоке данной скорости [5].

Процесс коагуляции частиц пыли с водяными каплями, протекающий на уголковых решетках, можно разделить на четыре этапа: захват частиц пыли водяными каплями в промежутке между форсунками и уголковой решеткой; коагуляция на поверхности решетки; захват частиц пыли водяными каплями, срывающимися с первого ряда уголков; захват частиц пыли каплями, срывающимися со второго ряда уголков. В связи с тем, что скорость капель, вытекающих из форсунок, относительно потока запыленного воздуха мала, захватом частиц пыли на первом этапе можно пренебречь.

Для расчета необходимы следующие данные:

конструктивные l' — половина ширины миделевого сечения уголка, м; a' — просвет между отдельными уголками в ряду, м; b' — просвет между рядами уголков, м; φ — угол между уголковой решеткой и перпендикуляром к основанию газохода, ...°; S — сечение газохода, м²; H — расстояние между форсунками и решеткой;

режимные: V — расход воздуха через уголковую решетку, м³/с; T — температура воздуха, °С; ρ — плотность воздуха, кг/м³; ν — кинематическая вязкость воздуха, м²/с; μ — динамическая вязкость воздуха, Па·с; C_0 — концентрация исходной пыли, г/м³; ρ_a — плотность частиц пыли, кг/м³; дисперсный состав пыли (табл. 6) принимается по счету или по массе.

Дисперсный состав пыли

Таблица 6

Размер частиц (интервал), м	$0-2r'_{a1}$	$2r'_{a1}-2r'_{a2}$	$2r'_{a2}-2r'_{a1}$	...	$2r'_{ak-1}-2r'_{ak}$
Размер частиц (средина интервала), м	$2r_{a1}$	$2r_{a2}$	$2r_{a3}$	...	$2r_{ak}$
Доля частиц (по счёту)	f_1	f_2	f_3	...	f_k
Доля частиц (по массе)	g_1	g_2	g_3	...	g_k
Концентрация пыли данной фракции	$C_1=C_0g_1$	$C_2=C_0g_2$	$C_3=C_0g_3$	...	$C_k=C_0g_k$

Если известно распределение размеров частиц по счету, то долю частиц i -й фракции по массе можно определить по формуле

$$q_i = f_i r_{ai}^3 / \sum_{j=1}^k f_j r_{aj}^3.$$

Конструктивные параметры уголковой решетки надо выбирать, как показал опыт, следующим образом: $a' = 2l'$, но не более $2l'$; $b' \approx l'$, но не менее l' ; уголок для решетки — от 35×35 мм до 50×50 мм; угол $\varphi = 45^\circ$.

Задавшись определенным расходом воды M_v , рассчитывают суммарную эффективность коагуляции пыли с водяными каплями. Если она меньше или больше требуемой, соответственно увеличивают или уменьшают расход воды и повторяют расчет. Считается, что капли в каплеуловителе улавливаются полностью, а улавливания частиц пыли не происходит.

Как отмечалось выше, захватом пыли каплями в промежутке между форсунками и уголковой решеткой можно пренебречь, так как скорость капель, вылетающих из форсунок, и скорость потока воздуха отличаются незначительно. Поэтому расчет начинают с коагуляции на уголковой решетке. Эффективность коагуляции пыли с каплями воды на уголковой решетке

$$\eta = 1 - \exp(-0,635 \sqrt[3]{\text{Stk} \zeta}). \quad (27)$$

Критерий Стокса для уголковой решетки

$$\text{Stk} = 1/18 (r_a^2 \rho_a U_0 / l' \mu), \quad (28)$$

где $U_0 = \omega_\infty = V/S$; ω — скорость воздушного потока.

Коэффициент аэродинамического сопротивления решетки

$$\zeta = \frac{17,3 \cos \varphi}{a^2} \left[1 + \frac{0,42a}{(b/2)^{2/a}} \right], \quad (29)$$

где $a = a'/b'$; $b = b'/l'$. Формулы (27) и (29) получены путем статистической обработки лабораторных экспериментов.

Сначала определяем скорость набегающего потока U_0 , а затем по формуле (29) — коэффициент аэродинамического сопротивления решетки. Для каждой фракции частиц по формуле (28) находим критерий Стокса и по формуле (27) — эффективность коагуляции каждой фракции η_i . Концентрация несоагулированной пыли каждой фракции

$$C'_i = C_i (1 - \eta_i). \quad (30)$$

Концентрация несоагулированной пыли служит исходной концентрацией для дальнейших расчетов.

Далее рассчитываем коагуляцию пыли каплями воды, срывааемыми с первого ряда уголков. Начальное значение относительной скорости капель $U_0 = w_\infty (2+a)/a$. Как известно [5], существует критерий, характеризующий отношение инерционных и поверхностных сил, так называемое число Вебера:

$$We = 2r\rho U_0^2/\sigma. \quad (31)$$

Известно также, что при некотором критическом значении We_k максимальный радиус капель, которые могут существовать в потоке, определяется из выражения (31). При значении критического числа Вебера, равном 6, максимальный радиус капли $r_k = 3\sigma/\rho U_0^2$. Как показал эксперимент, расчетный радиус капли $r = r_k/2$.

По полученным значениям U_0 и r определяем начальное значение Re_0 : $Re_0 = 2rU_0/\nu$. Для этого этапа расчета и для каждой фракции пыли по формуле (7) определяем начальное значение Stk_0 .

Время пребывания капли в потоке t , или значение параметра $x = \exp(-9\mu/\rho'r^2t)$ (см. гл. II), можно найти, исходя из следующих соображений. Абсолютный путь капли в потоке

$$L = w_{\infty}t - L_1, \quad (32)$$

где L_1 — относительный путь, пройденный каплей в потоке.

Очевидно, что $L_1 = Q_1/S_K$. Подставив в выражение (32) значение L_1 и умножив и разделив первое слагаемое правой части на выражение $-9/2 \cdot \mu/\rho'r^2$, получим

$$L = -\frac{2}{9} \frac{\rho'r^2}{\mu} w_{\infty} \ln x - \frac{M'_B \text{Re}_0}{12\rho S_K} (1-x) \exp(-0,213\sqrt{1-x}^3/\sqrt{\text{Re}_0}),$$

где $M'_B = 1/2 M_B$.

Из этого выражения можно определить x , если считать, что $L = b'$.

По формулам (12), (13) и (14) определяем значения y_0 , k_0 и n_0 , по формуле (17) — значение Q' . Для всех размеров частиц находим по формуле (10) значение y , по формуле (9) — коэффициент захвата и по формуле (18) — эффективность коагуляции пыли η_i каплями воды, срывааемыми с первого ряда уголков. Для каждой фракции концентрация не-скоагулированной пыли $C'_i = C_i (1 - \eta'_i)$.

Выполняем расчет эффективности коагуляции пыли с каплями воды, срывааемыми со второго ряда уголков. Под M''_B в этом случае надо понимать все количество воды, подаваемое на 1 м³ очищаемого воздуха. Размер капель принимаем таким же, как

и для предыдущего случая, так как дробление происходит в суженной части решетки. Скорость, по которой рассчитывается Re_0 , $U_0 = w_\infty$, так как захват происходит за пределами решетки. Время пребывания капли в потоке $t \rightarrow \infty$ ($x \approx 1$), и поэтому y рассчитывается по формуле (11). Для этого по формуле (7) определяем начальные значения критерия Стокса для всех фракций пыли, по формулам (13) и (14) — значения k_0 и n_0 . По формуле (9) находим коэффициент захвата для всех фракций пыли, а по формуле (18) — эффективность коагуляции пыли η_i каплями воды, срываемыми со второго ряда уголков. Концентрация нескоагулированной пыли для каждой фракции $C_i''' = C_i'' (1 - \eta_i'')$. Суммарная концентрация нескоагулированной пыли $C''' = \sum_{i=1}^n C_i''$.

Эффективность коагуляции на орошаемой уголко- вой решетке $\eta = (C_0 - C''')/C_0$.

Если достаточно точно исследован дисперсный состав пыли, то расчет эффективности по предложенной методике в пределах точности проводимых измерений согласуется с экспериментальными данными для хорошо смачиваемых пылей.

В качестве каплеуловителя после уголковых решеток можно использовать ударно-компенсационный фильтр — получим уголковый фильтр с пластинчатым каплеуловителем (рис. 8). Такие фильтры, рассчитанные на большую производительность, имеют значительные габаритные размеры, обусловленные величиной компенсационной камеры. Уменьшение размеров компенсационной камеры приводит к сильному каплеуносу. В этом случае одним из возможных решений является изготовление каплеулавливающих пластин такой конструкции, которая приведена в работе [43].

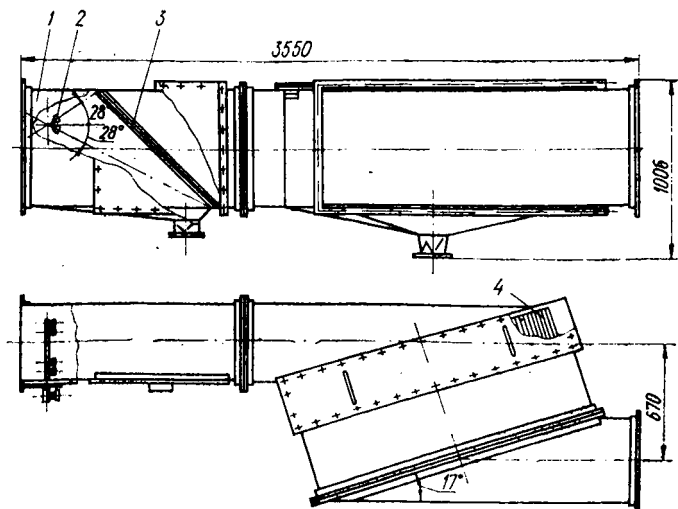


Рис. 8. Схема уголкового фильтра с пластинчатым каплеуловителем производительностью 20 тыс. м³/ч:

1 — корпус фильтра; 2 — форсунки; 3 — уголковая решетка; 4 — пластинчатый каплеуловитель.

6. УДАРНО-ИНЕРЦИОННЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ С ПЛАВАЮЩИМ ФИЛЬТРУЮЩИМ СЛОЕМ

В Советском Союзе и за рубежом разработаны пылеуловители ударно-инерционного действия с внутренней циркуляцией воды [8; 9; 45; 46], в которых воздух от пыли очищается в канале (импеллере), образованном перегородками различной конфигурации и свободной поверхностью воды.

Для предотвращения каплеуноса в пылеуловителях применяются специальные каплеуловители различных конструкций или отдельные вспомогательные устройства: скрубберы, циклоны и др. По сравнению с другими мокрыми фильтрами в аппаратах отсутствуют механические вращающиеся части

и распыляющие устройства, что позволяет использовать техническую оборотную воду. Расход воды в пылеуловителях определяется возмещением потерь на испарение и удаление шлама. Наиболее полная информация о фильтрах ударно-инерционного действия содержится в работах [27; 39].

Предприятия горнорудной промышленности характеризуются большим разнообразием технологических процессов. Для обеспыливания воздуха в надшахтных комплексах и в подземных условиях на опрокидах, подземных дробилках и дозаторах необходимы пылеуловители небольшой производительности — от 5 до 50 тыс. м³/ч, но с высокой эффективностью очистки воздуха от тонкодисперсной пыли. Аспирационные выбросы фабрик ГОКов очищаются в пылеуловителях производительностью от 15 до 400 тыс. м³/ч и более. Начальная запыленность аспирационного воздуха на предприятиях подземной добычи руды — от 10 мг/м³ до 3 г/м³, на горнообогаительных комбинатах — от 500 мг/м³ до 20 г/м³. Большинство действующих горнорудных предприятий имеет шламовое хозяйство. В то же время возникают трудности при нахождении водных резервов для вновь строящихся объектов. Поэтому при разработке конструкций пылеулавливающих аппаратов необходимо учитывать специфические особенности горнорудных предприятий.

Более простым и легкоизменяющимся является канал, образованный с помощью одной перегородки. Однако циркуляция воды в таких пылеуловителях сопровождается сильной пульсацией [13; 31], которая ухудшает эффективность очистки воздуха от пыли и затрудняет поддержание необходимого уровня воды. Пульсации можно снизить, прежде всего, за счет уменьшения скорости фильтрации. При снижении скорости уменьшается ширина канала, что

способствует поддержанию эффективности очистки воздуха от пыли на прежнем уровне. Работа пылеуловителя с небольшой шириной канала технически допустима только без жесткой второй перегородки. Применение узкого подводящего газохода с последующим растеканием воздушного потока в две противоположные стороны позволяет получить устойчивую водную поверхность и обеспечить стабильную работу аппарата с одноперегородочной схемой очистительного канала. При использовании широкого подводящего газохода скорость потока даже вблизи перегородки небольшая, а разгон потока начинается непосредственно у входа в очистительный канал. Для разгона пылевых частиц и получения высокого качества эффекта сепарации необходимо иметь значительную скорость (15—30 м/с) в очистительном канале. В прямолинейном узком подводящем газохode повышенная скорость поддерживается на участке в 5—6 раз длиннее, поэтому все частицы пыли приобретают более высокую скорость.

С увеличением скорости потока меняется также и конфигурация свободной поверхности воды. В связи с этим следует рассмотреть задачу по определению поля скоростей в зоне взаимодействия потока с поверхностью жидкости, а также эффективности улавливания пыли подвижной поверхностью воды при различных параметрах набегающей струи и фракции пыли.

Натекающая на поверхность жидкости струя образует в ней углубление и вследствие трения увлекает за собой некоторую часть жидкости. При постоянной скорости потока равновесие между ним и жидкостью не нарушается. С некоторым допущением можно рассматривать задачу о натекании струи газа на поверхность жидкости как физическую модель взаимодействия встречных струй. Пусть две

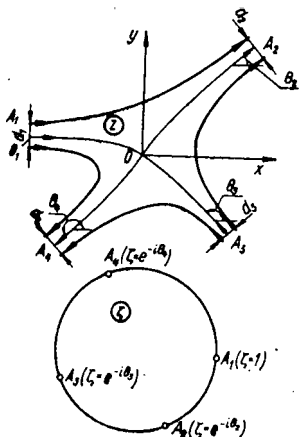


Рис. 9. Схема отображения плоскости течения z на плоскость комплексной скорости ζ .

струи d_1 и d_3 с одинаковой плотностью (рис. 9) сталкиваются между собой и растекаются в стороны в виде струй d_2 и d_4 . Будем полагать, что давление и модули скорости U на всех свободных поверхностях одинаковы. Выберем единицу времени таким образом, чтобы на свободных поверхностях $U=1$. При этом расход в единицу времени в каждой струе будет равен ширине струи в бесконечности. Поместим в критическую точку начало декартовой системы координат и направим ось x параллельно скорости

набегающего потока в струе d_1 ($\Theta_1=0$).

Решение рассматриваемой плоской задачи можно получить, применив метод теории функций комплексного переменного. Обозначим комплексную скорость течения $dw/dz = Ue^{-i\Theta} = U_x - iU_y$ через ζ , а ширину струй в бесконечности через d_1, d_2, d_3, d_4 . Здесь $w = \phi + \psi i$ — комплексный потенциал; $z = x + iy$ — комплексная координата течения; U_x, U_y — проекция скорости на координатные оси; ϕ, ψ — потенциал скорости и функция тока; $\Theta_2, \Theta_3, \Theta_4$ — углы, образованные средними линиями струй соответственно d_2, d_3, d_4 с положительным направлением оси.

При помощи конформных отображений доказано, что функция, реализующая конформное отображение комплексного потенциала потока w на плос-

кость комплексной скорости w , представляющую собой единичный круг $|\zeta|=1$, имеет вид [7]

$$w|\zeta| = \frac{1}{\pi} [d_1 \ln(\zeta - 1) + d_3 \ln(\zeta - e^{-i\theta_3}) - d_2 \ln(\zeta - e^{-i\theta_2}) - d_4 \ln(\zeta - e^{-i\theta_4})] + \text{const}$$

или

$$\frac{dw}{d\zeta} = \frac{1}{\pi} \left[\frac{d_1}{\zeta - 1} + \frac{d_3}{\zeta - e^{-i\theta_3}} - \frac{d_2}{\zeta - e^{-i\theta_2}} - \frac{d_4}{\zeta - e^{-i\theta_4}} \right]. \quad (33)$$

При этом следует иметь в виду, что количество жидкости, переносимое струями d_1 и d_3 , равно количеству жидкости, уносимой струями d_2 и d_4 , т. е.

$$d_1 + d_3 = d_2 + d_4. \quad (34)$$

Применяя теорему об изменении количества движения встречных струй, получаем следующее соотношение:

$$-d_1 - d_3 e^{i\theta_3} + d_2 e^{i\theta_2} + d_4 e^{i\theta_4} = 0$$

или после выделения действительной и мнимой частей

$$\begin{cases} -d_1 - d_3 \cos \theta_3 + d_2 \cos \theta_2 + d_4 \cos \theta_4 = 0; \\ -d_3 \sin \theta_3 + d_2 \sin \theta_2 + d_4 \sin \theta_4 = 0. \end{cases} \quad (35)$$

Если оси струй d_1 и d_3 лежат на одной прямой ($\theta_3 = \pi$), то картина течения после их столкновения будет симметрична относительно оси x (рис. 10). Течение имеет линию раздела двух потоков σ , причем в точке ее пересечения с осью x скорости обоих потоков равны нулю. В рассматриваемом частном случае $\theta_2 = 2\pi - \theta_4$; учитывая уравнения (34) и (35), будем иметь:

1



Рис. 10. Расчетная схема течения воздуха в зоне взаимодействия струи с поверхностью жидкости.

откуда

$$\cos \Theta_2 = (d_1 - d_3)/(d_1 + d_3). \quad (36)$$

Уравнение (33) может быть преобразовано к виду

$$\frac{dw}{d\zeta} = \frac{8d_1d_3\zeta}{\pi(d_1+d_3)(\zeta^2-1)(\zeta-e^{i\Theta_2})(\zeta-e^{-i\Theta_2})}. \quad (37)$$

Когда струя конечной ширины $d_3=d$ сталкивается с потоком бесконечной ширины ($d_1=\infty$), то, как следует из формул (36) и (37), течение описывается уравнением

$$dw/d\zeta = 8\zeta d/\pi (\zeta + 1) (\zeta - 1)^3. \quad (38)$$

Разделяя переменные в уравнении (38) и интегрируя методом неопределенных коэффициентов, получаем связь между комплексным потенциалом w и комплексной скоростью ζ :

$$w = \frac{d}{\pi} \left[\ln \frac{\zeta + 1}{\zeta - 1} - 2 \frac{\zeta}{(\zeta - 1)^2} \right]. \quad (39)$$

Для нахождения зависимости между комплексной скоростью и комплексной переменной воспользуемся формулой (38) и равенством

$$\frac{dz}{d\zeta} = \frac{dz}{dw} \frac{dw}{d\zeta} = \frac{1}{\zeta} \frac{dw}{d\zeta}; \quad \frac{dz}{d\zeta} = \frac{8d}{\pi (\zeta + 1) (\zeta - 1)^3}.$$

Интеграл этого дифференциального уравнения имеет вид

$$z = \frac{d}{\pi} \left[\ln \frac{\zeta - 1}{\zeta + 1} + 2 \frac{\zeta - 2}{(\zeta - 1)^2} + 4 \right]. \quad (40)$$

Постоянная интегрирования в уравнении (40) выбрана таким образом, что в критической точке O комплексная скорость $\zeta=0$. Уравнения (39) и (40) определяют функцию тока ψ , потенциал скорости ϕ и описывают поле скоростей в зоне взаимодействия струи газа с поверхностью жидкости.

После несложных преобразований можно получить зависимость, связывающую комплексную координату, потенциал и скорость потока, т. е.

$$z^* = - \left[w^* + \frac{4}{(\zeta - 1)^2} - 4 \right], \quad (41)$$

где $z^* = \pi z/d = x^* + iy^*$ — комплексная переменная;
 $\omega^* = \pi \omega/d = \Phi + i\psi$ — комплексный потенциал.

При получении формулы (38) мы считали, что скорость на свободных поверхностях равна единице, а плотность всюду одинакова. Если теперь будем считать, что струя имеет плотность ρ и скорость U_∞ , а поток соответственно ρ_1 и $U_{1\infty}$, и помножим все скорости (при умножении скоростей в каждой точке на постоянный множитель линия тока течения не меняется, так как такое умножение равносильно изменению единицы измерения) в области I на $U_{1\infty}^1$, а все скорости в области II на U_∞ , то мы тем самым перейдем от принятого для расчета течения к истинному.

Линия σ является линией разрыва скоростей. Давление при переходе через эту линию меняется непрерывно. Согласно теореме Бернулли для струи можно записать $P_{\text{стр}} = C - \rho U_\infty^2 / 2$, а для потока $P_{\text{п}} = C - \rho_1 U_{1\infty}^2 / 2$, где C — постоянная, равная давлению в точке $x^* = 0$. Очевидно, вдоль линии σ должно выполняться соотношение $P_{\text{стр}} = P_{\text{п}}$. Следовательно, $\rho_1 U_{1\infty}^2 / 2 = \rho U_\infty^2 / 2$. Отсюда легко найти скорость потока $U_{1\infty}$, если скорость струи известна: $U_{1\infty} = \lambda U_\infty$, где $\lambda = \sqrt{\rho / \rho_1}$.

Уравнение (38) и теперь будет описывать течения в обеих областях, только для потока переменная $\zeta = d\omega / \lambda U_\infty dt$, а для струи $\zeta = d\omega / U_\infty dz$.

Учтя, что $\zeta = v_x - iv_y$ (для струи $v_x = U_x / U_\infty$, $v_y = U_y / U_\infty$ — безразмерные составляющие скорости), и разделив в уравнениях (39) и (41) действительные и мнимые части, получим решение рассматриваемой задачи:

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi &= \frac{1}{2} \ln \left(1 + \frac{4v_x}{(v_x - 1)^2 + v_y^2} \right) - \\ &- 2 \frac{(v_x - 2)(v_x^2 + v_y^2) + v_x}{[(v_x - 1)^2 + v_y^2]^2} ; \\ \psi &= \arctg \frac{2v_y}{v_x^2 + v_y^2 - 1} - 2 \frac{v_y(v_x^2 + v_y^2 - 1)}{[(v_x - 1)^2 + v_y^2]^2} ; \end{aligned} \right. \quad (42)$$

$$\left\{ \begin{aligned} x^* &= - \left\{ \Phi + 4 \frac{(v_x - 1)^2 - v_y^2}{[(v_x - 1)^2 + v_y^2]^2} - 4 \right\} ; \\ y^* &= - \left\{ \psi + 8 \frac{v_y(v_x - 1)}{[(v_x - 1)^2 + v_y^2]^2} \right\} . \end{aligned} \right. \quad (43)$$

Приближенная картина течения, рассчитанная по уравнениям (42) и (43) на ЭВМ МИР-1, представлена на рис. 10. Наименьшие скорости в струе наблюдаются на нулевой линии тока и вблизи ее. Скорость возрастает к перегородке и достигает максимума на линиях тока, примыкающих к ней.

Сравнение расчетной картины течения и результатов электрогидроанalogии показывает достаточно точное совпадение, что говорит о возможности расчета гидродинамических параметров в зоне взаимодействия струи газа с поверхностью жидкости по формулам (42) и (43).

Траектории сепарирующихся частиц с учетом формулы (43) вычислялись на ЭВМ МИР-1 из общеизвестной системы дифференциальных уравнений движения

$$\begin{aligned} \frac{d^2x}{dt^2} &= -Fr - \frac{1}{Stk} \left(v_x - \frac{dx^*}{dt} \right) ; \\ \frac{d^2y^*}{dt^2} &= - \frac{1}{Stk} \left(v_y - \frac{dy^*}{dt} \right) , \end{aligned} \quad (44)$$

где $Fr = gd/U_\infty^2$ — критерий Фруда; $Stk = \rho_0 d_r^2 U_\infty / 18 \nu \rho_2 d$ — критерий Стокса; ρ_0 — плотность пылинки; ν — кинематическая вязкость воздуха; d_r — диаметр пылинки.

Расчет по формуле (44) начинается с момента, когда линии тока еще параллельны, т. е. при $x^* = 6$. Линия раздела скоростей служит границей, до которой прослеживаются траектории частиц пыли.

Величину погружения перегородки в воду отсчитывают от точки поворота граничной линии тока $\psi = -\pi/2$. Точку пересечения линии σ и прямой назовем критической. Критическая траектория пылевой частицы (траектория, входящая в критическую точку) разделяет плоскость исследуемого сечения на области улавливания и уноса частиц данного размера. Очевидно, для различных погружений перегородки, критериев Стокса и Фруда существуют свои критические траектории, а следовательно, и разные эф-

фективности инерционного улавливания пыли.

На рис. 11 показаны некоторые критические траектории сепарирующихся частиц. Вид траектории зависит от месторасположения частиц в области разгона. Чем ближе к перегородке располагается частица в начальный момент, тем круче ее траектория на повороте струи. Однако при этом место со-

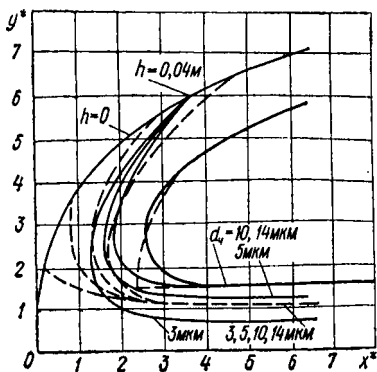


Рис. 11. Критические траектории сепарирующихся частиц:

сплошные линии — критические траектории частиц различного диаметра; штриховые — траектории частиц, помещенных в одну точку.

прикосновения частиц с поверхностью жидкости перемещается выше по потоку, а вероятность улавливания уменьшается.

В начальной области траектории разных по массе частиц, помещенных в одной точке, сливаются, а затем расходятся веером, причем с уменьшением диаметра частиц уменьшается и кривизна траектории.

Фракционную эффективность пылеулавливания рассчитывают исходя из допущения равномерного распределения фракции пыли по сечению струи как отношение ширины области улавливания к ширине струи (в области разгона частиц). Математическая обработка полученных результатов позволяет установить аналитическую зависимость для определения пофракционной эффективности инерционного улавливания пыли в канале пылеуловителя $\eta_p = 1 - \exp(-58,3Stke^{18,2h})$.

Для рационального использования водной поверхности и равномерного распределения воздушной нагрузки по очистительным каналам разработано несколько разновидностей компоновки подводных газопроводов (насадков) (рис. 12). Для насадка, показанного на рис. 12, а, была осуществлена проверка теоретических расчетов (табл. 7). Таким образом, экспериментально подтверждено, что основная сепарация пыли происходит в очистительном канале. Ранее такие выводы были сделаны при исследовании осаждения пылевых частиц в канале с двумя вертикальными перегородками [14].

В связи с незначительным влиянием капель на процесс пылеулавливания в аппаратах ударно-инерционного действия были предприняты попытки разработки способа предотвращения каплеобразования. Известно, что капли образуются за счет срыва водной массы воздушным потоком при выходе его из

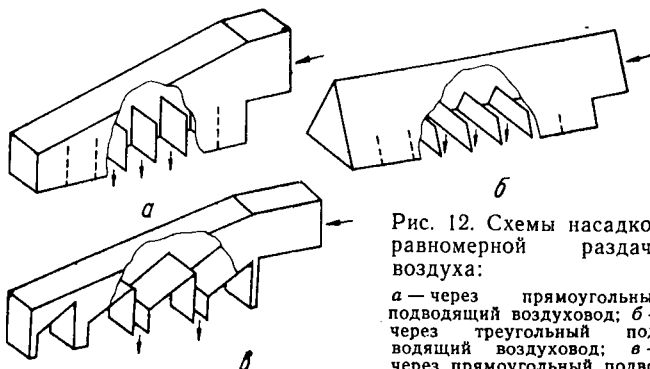


Рис. 12. Схемы насадок равномерной раздачи воздуха:

а — через прямоугольный подводящий воздуховод; б — через треугольный подводящий воздуховод; в — через прямоугольный подводящий воздуховод в отдельные патрубки.

Таблица 7

Результаты исследования инерционной эффективности ударно-инерционных фильтров *

Размер частицы $d_{\text{ч}}$, мкм	Эффективность, %	
	расчетная η_p	экспериментальная $\eta_{\text{э}}$
3	48,8	71,8
5	85,5	86,1
10	99,9	99,9
14	100,0	100,0

* Скорость потока U_{∞} равна 8 м/с, ширина насадка d — 0,1 м, погружение насадка h — 0,04 м.

очистительного канала. Был предложен и исследован плавающий в жидкости фильтрующий слой. Он состоит из гранул пластмассы или пористой резины с плотностью 500—600 кг/м³ и размещается за перегородкой по ходу движения воздушного потока. Плавающий в воде фильтрующий слой отличается от применяемых в настоящее время как неподвижных, так и псевдооживленных шаровых слоев тем [32; 39], что он предотвращает об-

разование капель. Примерно половина гранул слоя находится постоянно в воде. За счет очищаемого воздушного потока и движения жидкости гранулы

циркулируют, т. е. при работе фильтра слой самоочищается. При использовании насадков слой располагается между двумя смежными подводными газоходами. При этом расстояние между газоходами должно быть более двойной их ширины для гранул крупностью 20—35 мм. Толщина подводной части плавающего слоя должна быть равна погружению перегородки.

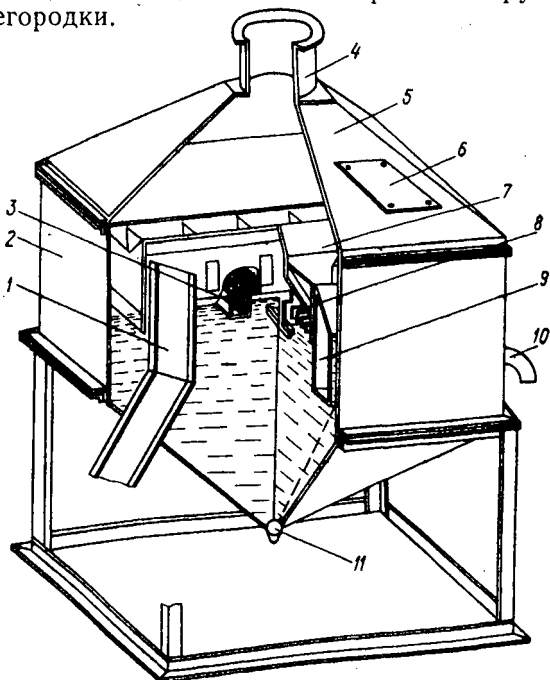


Рис. 13. Схема пылеуловителя ПС-1.

На рис. 13 представлена схема пылеуловителя ПС-1 с непрерывным удалением шлама, предназначенного для очистки небольших объемов воздуха

(порядка 15—18 тыс. м³/ч) при начальной запыленности до 10 г/м³. Коробчатый корпус 2 с крышкой 5 установлен на раму. Внутри корпуса размещено газораспределительное устройство, состоящее из подводящего воздуховода 7, к которому перпендикулярно с обеих сторон прикреплены насадки 8 (см. рис. 12, а.) Подводящий воздуховод вместе с насадками жестко соединен с расположенными по краям понтонами 9 и при заполнении осадительной камеры пылеуловителя водой находится на плаву. Нижней стенкой подводящего воздуховода является поверхность воды. Плавающая система имеет возможность опускаться и подниматься вдоль подводящего патрубка при изменении уровня воды. Очищенный воздух отсасывается из пылеуловителя через отводящий воздуховод 4. К центру подводящего воздуховода на растяжке прикрепляется клапан 11, выполненный в виде шара, который закрывает отверстие в сливном патрубке. Чистая вода подается через патрубок с вентилем. Для ограничения поднятия уровня воды в пылеуловителе предусмотрен контрольный слив 10. Свободные поверхности воды между смежными насадками покрываются плавающим гранулированным слоем 3. В крышке пылеуловителя 5 сделаны смотровые люки 6.

В пылеуловитель через подводящий патрубок 1 подается очищаемый воздух. Из подводящего воздуховода воздух распределяется по насадкам, где с помощью перегородок поток делится на небольшие струи, которые поджимаются к перегородкам и ударяются о поверхность воды. Затем, резко изменив направление, воздух из-под боковых стенок насадка пропускают через непрерывно циркулирующий плавающий фильтрующий слой. Гранулы фильтрующего слоя поднимаются, образуя над поверхностью воды псевдооживленный слой, который препятствует

уносу капельной жидкости потоком, способствует увеличению времени контакта очищаемого воздуха с водой. Затем гранулы выносятся из активной зоны и опускаются на поверхность воды, где под действием следующего слоя гранул и непрерывно перемещающейся жидкости увлекаются под воду. Очищенные от осевших на них пылевых частиц гранулы снова поступают в рабочую зону.

Шлам из пылеуловителя удаляется следующим образом. При увеличении уровня воды плавающая система поднимается и увлекает за собой клапан 11. Через сливной патрубок начинает вытекать загрязненная вода. Уровень в осадительной камере понижается, и клапан закрывает сливное отверстие.

Расход воды в пылеуловителе регулируется в зависимости от производительности фильтра и концентрации пыли в очищаемом воздухе. Регулируется также глубина погружения плавающей системы.

Пылеуловитель ПС-1 был впервые установлен в 1973 г. на дробильной фабрике Ново-Криворожского горнообогатительного комбината (НКГОК). Если начальная запыленность воздуха составляет 600 мг/м^3 , то после очистки она не превышает $30\text{—}40 \text{ мг/м}^3$.

Для предприятий, где отсутствует шламовое хозяйство, был разработан пылеуловитель ПС-2 с периодической выгрузкой уловленного материала грязевым насосом. Производительность аппарата 30 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. Он состоит из коробчатого корпуса с крышкой. Внутри размещено газораспределительное устройство из двух обособленных (рис. 12, б) насадков, которые жестко установлены в корпусе фильтра. Очищаемый воздух подается в аппарат через два воздуховода равномерной раздачи, где он распределяется по подводящим газовадам. Между двумя смежными газовадами в нижней части укреплены

корзинки, в которые помещаются гранулы фильтрующего слоя. Очищенный воздух удаляется через отводящий патрубок. В нижней части корпуса размещена сливная воронка, к которой подсоединяется грязевый насос для периодического удаления уловленного материала. Вода для поддержания постоянного уровня погружения насадков подводится с помощью поплавковой системы. Воздух от пыли очищается так же, как и в пылеуловителе ПС-1.

Пылеуловитель ПС-2 эксплуатируется на Криворожском суриковом заводе при очистке технологических выбросов от сушильной и прокалочной печей. При начальной запыленности газов 3—5 г/м³ шлам из осадительной емкости выгружается через каждые пять дней.

Фильтр ПС-3 (рис. 4) предназначен для очистки загрязненного воздуха от пыли, содержащей большое количество тонкодисперсной фракции (90—95% менее 3 мкм). Производительность пылеуловителя 8 тыс. м³/ч. Шлам удаляется непрерывно.

Пылеуловитель ПС-3 состоит из корпуса 5 с крышкой 4, в которую вмонтированы смотровые люки 3. Воздух подается через подводящий патрубок 2 в коагулирующее устройство 1, представляющее собой насадок равномерной раздачи воздуха, который установлен над поверхностью воды. Ударяясь о воду, равномерно распределенный поток запыленного воздуха образует завесу из брызг и капель размером 50—100 мкм. Крупные фракции пыли вследствие большой инерционности сепарируются при ударе воздуха о воду, а более мелкие коагулируются с образовавшимися каплями. Поток воздуха вместе со скоагулированной пылью распределяется по насадкам 6, между которыми помещен плавающий слой 8, а затем процесс очистки идет аналогично процессу в ПС-1. Уловленный шлам удаляется непрерывно

через сливную воронку 9, находящуюся в нижней части корпуса. Рабочий уровень воды поддерживается с помощью переливной трубы 7.

На обогатительной фабрике рудника им. Ильича ПС-3 установлен в системе очистки аспирационного

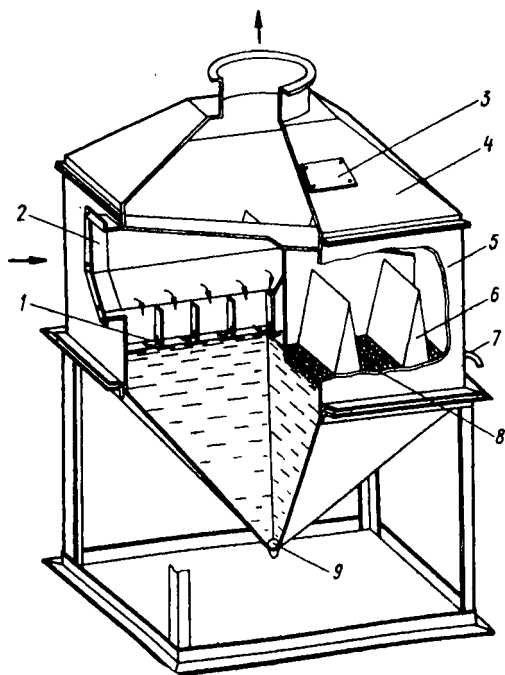


Рис. 14. Схема пылеуловителя ПС-3.

воздуха. Для пылеуловителя используется часть воды, подаваемой в классификаторы. Вода, вытекающая из осадительной емкости аппарата, поступает в классификаторы. Таким образом, пылеуловитель служит промежуточной емкостью для воды,

используемой в технологическом процессе фабрики. Пофракционная степень улавливания пыли в ПС-3 приведена в табл. 8.

Для очистки больших объемов запыленного воздуха предназначен секционный пылеулавливающий аппарат ПС-4 с непрерывным удалением шлама (рис. 15). Производительность одной секции составляет 25 тыс. м³/ч.

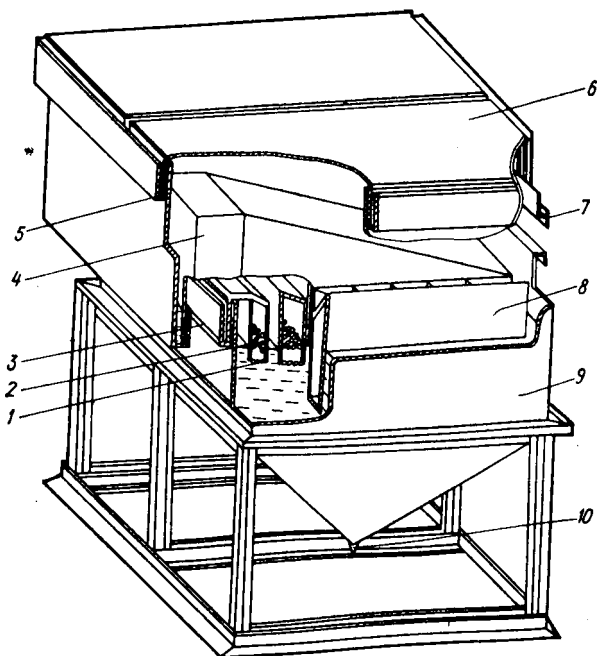


Рис. 15. Схема пылеуловителя ПС-4.

Секция состоит из корпуса 9 и крышки 6, которая с целью облегчения монтажа, демонтажа и улучшения герметизации соединений имеет гидравлические

Результаты промышленных исследований пылеуловителя ПС-3

Диаметр частиц d_p , мкм	До 1,4	1,4—4,2	4,2—9,8	9,8—15	15—30	30—45	45—105	105
Распределение пыли (массовое) до пылеуловителя, %	51,8	19,8	7,6	8,0	4,6	0,8	3,0	4,4
Распределение пыли (массовое) после пылеуловителя, %	42,2	9,9	18,6	23,4	5,9	—	—	—
Попрационная степень улавливания, %	96,1	97,5	87,8	85,4	93,6	100	100	100

уплотнения 5. Внутри корпуса каждой секции размещена очистительная система, представляющая собой воздухопровод равномерной раздачи 4. Чтобы исключить перемещение гранул фильтрующего слоя 2 из одного отсека в другой, предусмотрены ограничительные корзинки 1. Подводящие газоходы пылеуловителя ПС-4 прикреплены к понтонам 8. Для придания насадкам горизонтального положения предусмотрены контргрузы. При изменении уровня воды в осадительной емкости пылеуловителя насадки могут подниматься и опускаться таким образом, что погружение их остается постоянным. Соединения насадков с подводящим воздухопроводом также имеют гидравлические уплотнения.

Загрязненный воздух поступает в аппарат через патрубок 3. Очищенный воздух проходит в проемы, расположенные над понтонами, и удаляется из пылеуловителя через отводящий воздухопровод 7.

Шлам сливается периодически через сливную воронку 10 с клапаном, соединенным тросом с плавающей системой.

Струйный пылеуловитель ПС-5 (рис. 16) — секционный фильтр — предназначен для очистки аспирационного воздуха. Производительность каждой секции 25 тыс. м³/ч. Шлам выгружается периодически с помощью грязевого насоса или грейфера.

Пылеуловитель состоит из отдельных секций, каждая из которых выполнена в виде прямоугольного коробчатого корпуса 4 с открытым днищем. Секции с помощью крючков подвешиваются на вертикальные стенки осадительной емкости. Насадок выполнен в виде ряда параллельных подводящих газоходов 3, к которым в верхней части прикреплен воздухопровод равномерной раздачи 8. В нижней части насадка между двумя смежными подводящими газоходами 3 находятся корзинки 1, в которые помеща-

ются гранулы фильтрующего слоя 2. По бокам насадка жестко прикреплены поплавки 9. Очистительная система удерживается внутри корпуса при транспортировке секции на ограничительных план-

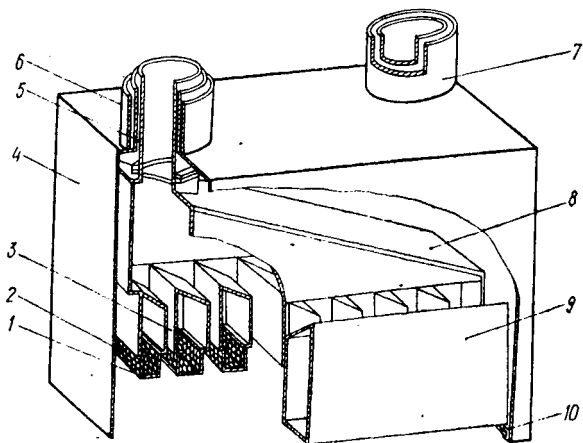


Рис. 16. Схема пылеуловителя ПС-5.

ках 10. На крыше секции размещены подводящий 6 и отводящий 7 воздуховоды, выполненные в виде двух коаксиальных патрубков. Внутренний патрубок подводящего воздуховода 6 телескопически соединен с помощью переходника 5 с очистительной системой. Загрязненный воздух очищается так же, как и в аппарате ПС-1.

Применение секционного пылеуловителя ПС-5 позволяет собирать аппарат на любую производительность, используя при этом одну общую емкость для осаждения пыли, быстро и легко осуществлять монтаж и демонтаж секций. Такой же пылеуловитель может работать и в том случае, если на

Техническая характеристика пылеуловителей типа ПС

Тип пылеуловителя	Производительность, м ³ /с	Эффективность очистки, %	Гидравлическое сопротивление, Па	Начальная концентрация, г/м ³	Способ удаления шламов	Способ поддержания рабочего уровня воды	Расход воды, г/м ³	Габаритные размеры, мм			Место испытания
								высота	ширина	длина	
ПС-1	5	98	1100	10	Непрерывный	За счет плавающей очистительной системы и контрольного слива	100	3500	2500	2500	НКГОК
ПС-2	8	98	1200	15	Периодический	За счет поплавковой системы регулирования уровня	50	3500	2600	2600	Суриковый завод
ПС-3	2	99	1300	15	Непрерывный	С помощью контрольного слива	—	2000	1720	1720	ЦОФ РУ им. Ильича
ПС-4 *	14	98	1200	15	Непрерывный	За счет плавающей очистительной системы и контрольного слива	110	5000	4400	5200	ДСФ РУ им. Ильича
ПС-5 **	7	98	1200	15	Периодический или непрерывный	За счет плавающей очистительной системы и контрольного слива	100	3200 без поддона	2400	3400	ДРРЗ

* Две секции, производительность каждой 7 м³/с.

** Одна секция, выполненная с возможностью компоновки в группы на нужную производительность.

предприятию нет шламового хозяйства. При этом может быть использована такая же схема удаления шлама, как и для ПС-2. При очистке газов с небольшой начальной запыленностью, как показал опыт работы секции ПС-5 на Дзержинском рудоремонтном заводе (ДРРЗ), для накопления шлама может быть использована периодическая заменяемая емкость — накопитель. Техническая характеристика ударно-инерционных пылеуловителей с плавающим фильтрующим слоем приведена в табл. 9.

7. ТКАНЕВЫЕ ФИЛЬТРЫ

Тканевые фильтры широко применяются в различных отраслях промышленности для очистки от пыли технологических и вентиляционных выбросов и бывают рукавными, каркасными, кассетными и ячейковыми. Наибольшее распространение в горнорудной промышленности получили рукавные фильтры ФВ. Применяются они для очистки аспирационного воздуха при обеспыливании источников интенсивного пылеобразования (дробильные установки, бункеры, дозаторы и др.). Реже эти фильтры применяются для очистки технологических газов.

Фильтр ФВ-90 (рис. 17) состоит из металлического корпуса, разделенного перегородками на самостоятельные секции (ФВ-30 имеет 2 секции, ФВ-45—3, ФВ-60—4, ФВ-90—6 секций). В каждой секции находится по 18 рукавов диаметром 135 мм и длиной 2090 мм.

Уловленная пыль удаляется периодическим встряхиванием рукавов и обратной продувкой через специальное отверстие в клапанной коробке. Технические данные фильтров ФВ приведены в табл. 10. В шахтных условиях при относительной влажности воздуха более 90%, воздушной нагрузке

150 м³/ (ч·м²), начальной запыленности от 1480 до 18140 мг/м³ остаточная концентрация в фильтре ФВ-90 в среднем составляла 0,54 мг/м³. Средняя эффективность пылеудержания была равна 99,98%

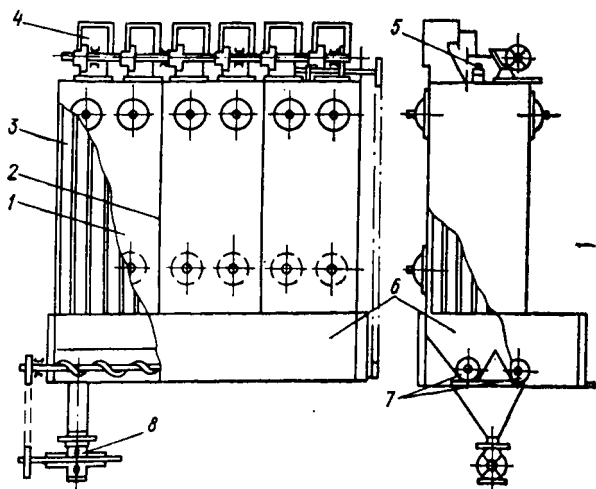


Рис. 17. Рукавный фильтр ФВ-90:

1 — кожух; 2 — перегородка; 3 — матерчатый рукав; 4 — коробка клапана; 5 — встряхивающий механизм; 6 — поддон;
7 — шнек; 8 — дозирующий клапан.

[20]. Большие размеры фильтров ФВ, особенно высота, затрудняют установку и обслуживание их в подземных выработках.

Во ВНИИБТГ разработана конструкция рукавного фильтра ФРШ-100М, предназначенного для очистки воздуха в условиях горнорудных предприятий. Фильтр ФРШ-100М (рис. 18) состоит из разборного металлического корпуса 1, разделенного внутренней перегородкой на две равные (по величине

фильтровальной поверхности рукавов) секции. В каждой секции размещено по четыре группы фильтровальных рукавов 3, прикрепленных к рамам подвеса. В каждой группе имеется по 20 рукавов.

Таблица 10

Технические данные фильтров ФВ

Показатель	ФВ-30	ФВ-45	ФВ-60	ФВ-90
Производительность при воздушной нагрузке на ткань $150 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$	4500	6750	9000	135 000
Фильтровальная поверхность, м^2	30	45	60	90
Число рукавов	36	54	72	108
Размеры рукавов, мм:				
длина	2090	2090	2090	2090
диаметр	135	135	135	135
Габаритные размеры, мм:				
длина	1435	1970	2490	3525
ширина	1580	1580	1580	1580
высота	4100	4100	4100	4100
Масса, кг	900	1210	1410	2000

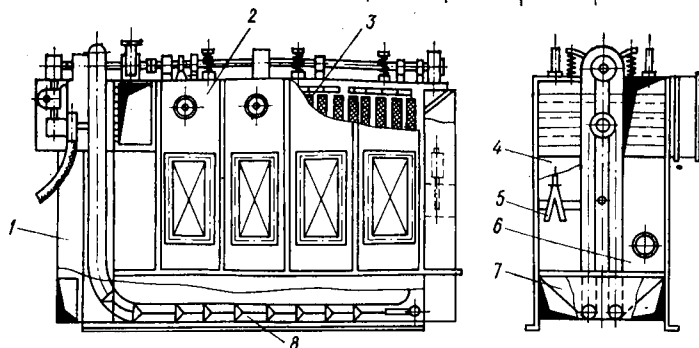


Рис. 18. Фильтр рукавный шахтный ФРШ-100М.

Встряхивающий механизм 2 расположен на крышке фильтра. Аспирационный воздуховод коллектора загрязненного воздуха 6 можно присоединить к торцевой части фильтра или к одной из его боковых сторон. Очищенный воздух отводится из секции фильтра через клапаны 5, расположенные на противоположной торцевой стенке фильтра.

Бункер фильтра 7 «корытного» типа имеет люки для осмотра и ремонта механизма по выгрузке пыли. Уловленная пыль выгружается конвейером з-образной формы с погруженными скребками 8. Разгрузочный клапан поднят на высоту 1,8 м и вынесен за пределы корпуса фильтра для удобства разгрузки уловленной пыли в вагонетку. В противоположной от места выгрузки уловленной пыли торцевой стенке бункера предусмотрен люк для приема пыли (в случае необходимости) из установленного рядом фильтра.

Запыленный воздух по аспирационному воздуховоду поступает в коллектор загрязненного воздуха, далее в бункер фильтра и входит в фильтровальные рукава через нижние открытые их концы, прикрепленные к поддону. Очищенный воздух из первой секции забирается по вентиляционному каналу, расположенному по оси фильтра между рукавами во второй секции.

Ткань регенерируется встряхиванием и обратной продувкой. Для обратной продувки в фильтре на входе в коллектор загрязненного воздуха, а также в месте подключения воздухопровода чистого воздуха 4 установлены клапаны. Здесь же находятся два клапана, соединяющие секции фильтра с атмосферным воздухом и предназначенные для обратной продувки.

Командный электропневматический прибор КЭП-12у включает по заданной программе через

воздухораспределительное устройство фильтр на режим регенерации. Команда для автоматической регенерации передается от датчика контроля гидравлического сопротивления фильтровальной ткани или дистанционным включением.

*Техническая характеристика фильтра
ФРШ-100м*

Производительность, м ³ /ч, при воздушной нагрузке	
100 м ³ /(ч·м ²)	11 200
180 м ³ /(ч·м ²)	20 200
Поверхность фильтровальной ткани, м ²	112
Сопротивление ткани перед началом регенерации (максимальное), Па, при воздушной нагрузке	
100 м ³ /(ч·м ²)	800
180 м ³ /(ч·м ²)	1200
Число рукавов	160
Размеры рукавов, мм:	
длина	1650
диаметр	135
Габаритные размеры, мм:	
длина	4450
ширина	1530
высота	2800
Потребляемая мощность, кВт	1,2
Масса, кг	180

Опытно-промышленный образец фильтра ФРШ-100М был установлен на шахте им. 50-летия газеты «Правда» рудоуправления им. К. Либкнехта для очистки воздуха, отсасываемого из укрытий подземной дозаторной установки на отметке 765 м.

Общее количество воздуха, проходящего через фильтр, составляло 13 400 м³ за 1 ч. Относительная влажность аспирационного воздуха равна 85—90%. Запыленность воздуха после очистки в фильтре составляла 0,21—0,35 мг/м³, в среднем — 0,28 мг/м³. Средняя эффективность пылезадержания — 99,8%

[20]. Такой же фильтр длительное время работал на дробильной фабрике СевГОКа.

Для очистки аспирационного воздуха ВНИИБТГ разработал рукавный фильтр ФПГ-26 с форсированным режимом фильтрации при непрерывной поочередной пульсирующей продувке фильтровальных элементов сжатым воздухом. Фильтр ФПГ-26 (рис. 19) состоит из цилиндрического корпуса 1,

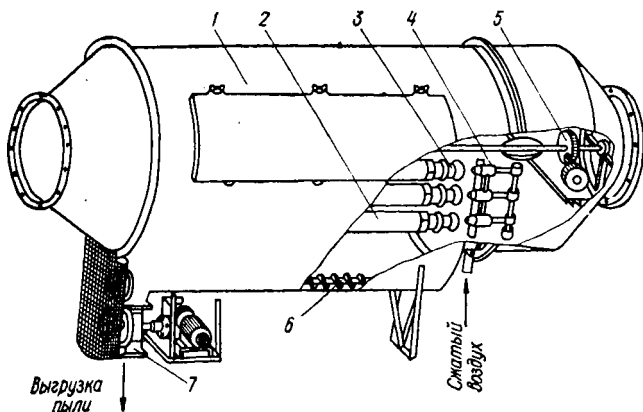


Рис. 19. Фильтр с пульсирующей продувкой ФПГ-26.

диффузора и конфузора, внутри которых размещены фильтрующие элементы 2 и все другие механизмы. Фильтрующие элементы, имеющие форму звездочки, закреплены на каркасах, концы их с одной стороны закрыты металлическими заглушками и приделаны к поворотному диску 5. Открытые концы рукавов патрубками прикреплены к корпусам эжекторов 3, которые, в свою очередь, крепятся к торцовой стенке коллектора очищенного воздуха. По центральной продольной оси фильтра проходит вал. К нему при-

креплен коллектор с фильтрующими элементами и поворотный диск.

Запыленный воздух подводится к диффузору фильтра, просасывается через ткань внутрь фильтрующих элементов, через корпус эжекторов направляется в коллектор и далее отводится через конфузор. При повышении гидравлического сопротивления до заданной величины автоматически включается механизм поворота, который подводит поочередно к клапанам 4 сжатого воздуха ряд фильтровальных элементов. При совпадении отверстия клапана с эжектором в фильтрующий элемент для встряхивания пыли кратковременно (в течение 0,3 с) подается высоконапорная струя воздуха. Встряхивание продолжается до тех пор, пока гидравлическое сопротивление ткани не снизится до заданного уровня, после чего механизм регенерации автоматически отключается. Уловленная в фильтре пыль удаляется шнеком 6 через разгрузочный клапан 7.

Благодаря применению многослойной ткани, фильтр работает при повышенных воздушных нагрузках [до $0,14 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)$], гидравлическое сопротивление фильтра 1000—1200 Па, эффективность пылезadržания — 99,9%. Производительность фильтра равна $3,6 \text{ м}^3/\text{с}$, длина — 2130 мм, высота — 1730 мм, ширина — 1200 мм, масса — 750 кг. Расход сжатого воздуха для встряхивания пыли составляет не более 0,5% объема очищаемого воздуха. Длительные промышленные испытания ФПГ-26 прошел на дробильно-сортировочной фабрике рудоуправления им. XX партсъезда объединения «Кривбасс-руда» [22].

Для этих фильтров разработаны синтетические фильтровальные ткани: хлориновая № 5; лавсановая, образец 5386; хлориновая с хлопком, образец 5230; многослойные ткани из хлорина, образцы

5126, 5149. Эти фильтровальные ткани обладают высокими пылезадерживающими свойствами. Гидравлическое сопротивление их при повышенных воздушных нагрузках $[0,07—0,05 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{м}^2)]$ небольшое, ткани негигроскопичны и не подвержены гниению, имеют большой срок службы.

В последние годы ВНИИБТГ совместно с УкрНИИПВ разработал новые фильтровальные полотна с лавсаном в виде готового рукава со следующей технической характеристикой: диаметр рукава — 135 мм; масса одного метра — 420 г; оптимальная воздушная нагрузка — $115—200 \text{ м}^3/(\text{ч} \cdot \text{м}^2)$; эффективность пылезадержания — 99,8%. Из-за относительно больших размеров рукавных тканевых фильтров их невозможно применять в подземных условиях без специально пройденных ниш для размещения таких фильтров.

Для очистки воздуха в некоторых отраслях промышленности нашли широкое применение кассетные рамочные фильтры, которые отличаются своей компактностью и простотой изготовления. Они состоят из П-образных рамок и фильтровальной ткани, зажатой между ними. Для того чтобы ткань не слиплась, со стороны выхода чистого воздуха вкладываются гофрированные пластмассовые перегородки.

Существующие рамочные фильтры работают без регенерации фильтровальной ткани, поэтому при заливании ткани ее необходимо менять. Применять такой фильтр для очистки воздуха с высоким содержанием пыли невозможно. В связи с этим во ВНИИБТГ разработан рамочный кассетный фильтр с регенерацией ткани.

Конструкция кассеты показана на рис. 20. К деревянным рамам 2 с обеих сторон крепятся сетки 1 из проволоки диаметром 3 мм. Рамки обтягиваются фильтровальной тканью 3 таким образом, что она

оказывается между двумя стенками: Кассета стягивается болтами 4. Размеры рамки 1050×650 мм, толщина ее 25 мм. Площадь фильтрации всей кассеты 5,4 м². В фильтре применена хлориновая ткань (образец 5149), выдерживающая сравнительно высокую воздушную нагрузку.

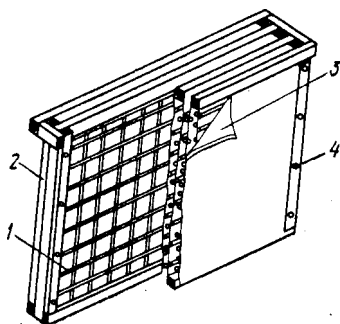


Рис. 20. Конструкция кассеты рамочного тканевого фильтра.

Как показали лабораторные и промышленные испытания, при воздушной нагрузке 300 м³/(ч·м²) и средней начальной запыленности 150 мг/м³ (медианный диаметр пыли — 6—9 мкм) эффективность пылеулавливания этого фильтра составила 99,75%, а остаточная

концентрация не превышала 1 мг/м³.

Зависимость гидравлического сопротивления фильтра от пылеемкости в начальный период определена экспериментально:

$$H = H_0 + aG^2, \quad (45)$$

где H_0 — сопротивление фильтра до запыления, Па; G — пылеемкость ткани, кг/м²; a — постоянный коэффициент, м³/(с²·кг).

Для данной кассеты фильтра при $H_0 = 520$ Па численное значение a , определенное по методу наименьших квадратов, равно 724. Таким образом, формула (45) для данных условий имеет вид $H = 520 + 724 G^2$.

Исходя из экономической целесообразности, а также на основании рабочей характеристики вентри-

ляторов местного проветривания максимальное значение гидравлического сопротивления фильтра было принято равным 1570 Па. Этому значению соответствует пылеемкость ткани 1,2 кг/м². При максимальном сопротивлении ткань регенерировалась методом обратной пульсирующей продувки в течение 15 мин с воздушной нагрузкой 300 м³/(ч·м²). После регенерации гидравлическое сопротивление фильтра стало равным 980 Па. Этому значению соответствует пылеемкость 0,8 кг/м². Таким образом, зависимость сопротивления фильтра от пылеемкости для сформированного фильтрующего слоя можно представить в виде

$$H = 520 + 724(0,8 + G)^2. \quad (46)$$

Формула (46) была проверена экспериментально.

Рамочный тканевый фильтр в зависимости от числа кассет может иметь производительность от 1,5 м³/ч при одной до 9,0 м³/ч при шести кассетах. Такие фильтры рационально использовать для очистки воздуха от пыли при проведении выработок. При этом они могут быть стационарными или передвижными, устанавливаемыми на шасси шахтных вагонеток. Кассетный (рамочный) тканевый фильтр установлен на агрегат комплексной очистки воздуха, который применяется на рудниках Кривбасса [1].

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ФИЛЬТРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ

1. РУДНИЧНЫЙ ЭЛЕКТРОФИЛЬТР

Исследования запыленности вентиляционных потоков в шахтах Криворожского бассейна показали [41], что концентрация пыли в воздухе, поступающем в очистные блоки, превышает предельно допустимую. В связи с этим возникает необходимость очистки больших объемов малозапыленного воздуха, выбрасываемого из подготавливаемых горизонтов, для его повторного использования.

Пылеочистные устройства для очистки вентиляционных потоков должны обладать большой производительностью при небольшом поперечном сечении; достаточно высокой степенью очистки воздуха от пыли, особенно мелких фракций, при небольшой первоначальной запыленности; небольшим аэродинамическим сопротивлением.

Анализ современных методов очистки воздуха от пыли показал, что больше всего этим условиям удовлетворяют электрофильтры. Об этом свидетельствуют многочисленные попытки применить эти устройства для очистки рудничного воздуха. Однако используемые в настоящее время в шахтах электрофильтры имеют низкую скорость фильтрации. Практически их нельзя устанавливать в выработках, где скорость движения воздуха превышает 3 м/с. Для этого необходимо увеличивать площадь поперечного сечения выработки в месте установки фильтра выше допустимых пределов. Увеличить скорость прохождения воздуха через электрофильтр можно либо путем изменения его конструкции, либо путем интенсификации в нем процессов осаждения пыли.

Анализ физических процессов [10; 34], протекающих в электрофильтрах, показал, что электрический ветер играет более значительную роль, чем это считалось до сих пор, и может служить одним из основных источников интенсификации процессов осаждения тонкодисперсной пыли в электрофильтре.

Установка для исследования корреляции между скоростью электрического ветра и параметрами коронного разряда представляет собой заземленную сетку, параллельно которой протянут коронирующий электрод. При подаче напряжения на электроды возникает коронный разряд. Во внешней области разряда, заполненной униполярным зарядом, на объем воздуха действует сила

$$F = Ih/k, \quad (47)$$

где I — сила тока; h — расстояние между коронирующим электродом и сеткой, м; k — подвижность ионов, $\text{м}^2 \cdot \text{В}^{-1} \cdot \text{с}^{-1}$.

В результате действия этой силы за сеткой возникает плоская струя. В проводимых опытах измеряли количество воздуха, проходящего через поперечное сечение струи за 1 с, и подсчитывали силу сопротивления движению воздуха через сетку.

Так как и количество воздуха и сила сопротивления пропорциональны квадрату скорости, то среднеквадратическая скорость электрического ветра u пропорциональна $\sqrt{Ih/k}$. Теоретические расчеты [25], выполненные в последнее время, подтверждают этот результат. Установка для исследования влияния электрического ветра на транспортировку тонкодисперсной пыли представляла собой один канал пластинчатого электрофильтра. Коронирующие электроды изготовляли двух типов: с односторонним расположением девяти коронирующих иголок и двусторонним — по четыре с одной и пять с другой

стороны. На электроды подавали высокое напряжение и через модель пропускали запыленный воздух. Опыты проводили, используя пыль со средним диаметром частиц 3 мкм, при скоростях воздушного потока в фильтре, равных 2 и 4 м/с. Для данной модели размеры пыли соответствовали условию полного ее увлечения электрическим ветром (время достижения частицей скорости, равной 90% от скорости электрического ветра, на порядок меньше времени пребывания ее в зоне, где действует электрический ветер).

Исследования показали, что при скорости потока 2 м/с эффективность пылеулавливания в случае одностороннего расположения коронирующих иглол на электродах при любой мощности коронного разряда больше эффективности пылеулавливания с двусторонним расположением иглол. Так, при максимальной мощности коронного разряда, достигнутой в данном эксперименте, унос пыли при двустороннем расположении иглол равен 15%, а при одностороннем — 9%, т. е. уменьшается примерно в 1,7 раза. Такого же эффекта можно достичь в электрофилт্রে с двусторонним расположением иглол, только увеличивая одновременно длину осадительных пластин и мощность коронного разряда на 30%. Единственной причиной увеличения эффективности пылеулавливания при одностороннем расположении иглол на коронирующих электродах, по сравнению с двусторонним расположением, является создание лучших условий для действия электрического ветра.

На рис. 21 схематически показаны линии тока электрического ветра при одностороннем и двустороннем расположении иглол без движения воздуха через фильтр. Как видно из рисунка, при одностороннем расположении иглол циркуляция воздуха

вокруг иголок имеет больший масштаб, а значит, уменьшаются потери на трение.

С увеличением скорости воздуха, протекающего через фильтр, картина линий тока будет нарушаться

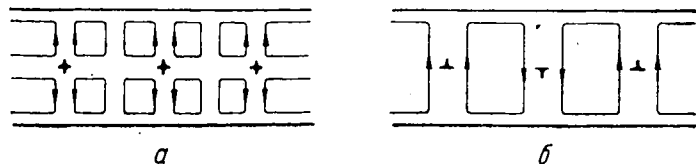


Рис. 21. Линии тока электрического ветра при двустороннем (а) и одностороннем (б) расположении иголок.

и наступит такой момент, когда электрический ветер уже не будет играть роли в процессе транспортировки пыли. Так, при скорости 4 м/с для мощности ниже 5 Вт эффективность пылеулавливания при одностороннем расположении иголок меньше.

Однако с увеличением силы тока, а значит, и скорости электрического ветра эффективность пылеулавливания для электродов с односторонним расположением иголок снова становится выше, чем для электродов с двусторонним расположением иголок. Создание лучших условий для действия электрического ветра даже в обычных электрофильтрах, которые разрабатывались без учета этого действия, приводит к увеличению их эффективности, а значит, и к интенсификации процессов осаждения пыли в этих фильтрах. В связи с этим возникает вопрос о разработке схем электрофильтров, в которых были бы созданы максимально благоприятные условия для действия электрического ветра. Такие электрофильтры мы будем называть электрофильтрами с направленным действием электрического ветра. На рис. 22 приведены схемы

электрофильтров, в которых, по нашему мнению, созданы такие условия для направленного действия электрического ветра. Как видно из рис. 22, а, осадительные пластины 1 с расстоянием d между ними установлены под углом к набегающему по-

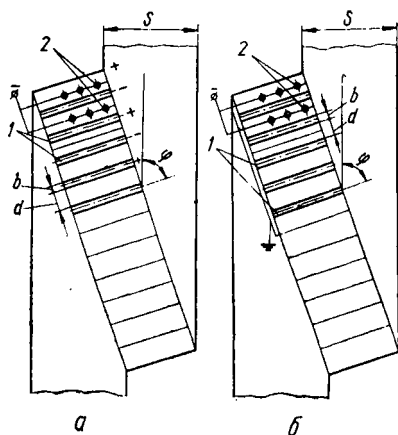
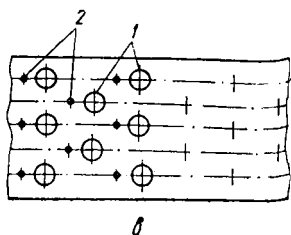


Рис. 22. Схемы электрофильтров с направленным действием электрического ветра.



току. В связи с этим в каналах, образованных осадительными пластинами, возникает поджатие потока к одной из пластин. Потенциалы пластин чередуются. Коронирующие электроды 2 установлены в той части канала, в которой нет движения воздуха, и соединены с осадительными электродами таким образом, чтобы пыль подвергалась заряду, противоположному заряду пластины, к которой поджимается струя. Коронный разряд в этом случае направлен только в сторону осадительного электрода, и весь ионный поток идет на создание электрического ветра, также направленного в сторону пластины, на которой осаждается пыль. Установка осадительных пластин под углом ϕ к набегающему

потоку дает возможность увеличивать площадь фильтрации, не увеличивая площади поперечного сечения, что особенно удобно для установки такого фильтра в шахтных выработках. Недостатком такого фильтра является то, что соседние осадительные пластины имеют противоположные потенциалы. Это приводит к усложнению конструкции фильтра и исключает применение воды для смыва осевшей пыли.

На рис. 22, б приведена схема электрофильтра, который отличается от предыдущего тем, что все его осадительные пластины 1 заземлены, а игольчатые коронирующие электроды 2 такой формы и располагаются в каналах таким образом, что коронирующий разряд направлен только в сторону электрода, на котором осаждается пыль. Так как осадительные электроды заземлены и исключена возможность короткого замыкания при стекании воды с пластин, то для смыва осевшей пыли можно применять воду, либо подавая ее на пластины, либо распыляя в потоке запыленного воздуха.

В обоих фильтрах силовые линии электрического поля направлены перпендикулярно к направлению потока воздуха в каналах электрофильтра. В дальнейшем их будем называть электрофильтрами с поперечным полем.

На рис. 22, в показана схема электрофильтра с направленным действием электрического ветра и продольным полем, т. е. силовые линии электрического поля совпадают с направлением потока воздуха в электрофильтре. По-видимому, скорости воздуха в таком фильтре могут быть не очень высокими, но он обладает очень важным преимуществом: этот фильтр в некоторых случаях может работать без вентилятора за счет тяги, создаваемой электрическим ветром. Следует ожидать, что в

электрофильтрах такой конструкции дрейф очень мелких частиц (менее 1 мкм) будет обусловлен в основном направленным действием электрического ветра, а скорость таких частиц по направлению к осадительному электроду пропорциональна корню квадратному из произведения силы тока на расстояние от концов коронирующих электродов до осадительных пластин.

При установке осадительных пластин под углом к набегающему потоку, как показано на рис. 22, а и б (входные кромки осадительных пластин расположены по прямой линии), поток воздуха по инерции сносится к последним по ходу потока пластинам. Из-за неравномерного распределения скоростей эффективность пылеулавливания может значительно уменьшиться. Равномерного распределения можно достичь [44] путем установки входных кромок осадительных пластин по кривой, исходя из условия $V(i)\Delta S_y(i) = \text{const}$, где $V(i)$ — скорость в i -м канале при установке входных кромок осадительных пластин по прямой, м/с; $\Delta S_y(i)$ — проекция отрезка, соединяющего две соседние входные кромки, на ось y , перпендикулярную к направлению набегающего потока, м;

$$\Delta S_y(i) = \frac{1}{V(i)} \frac{S - Nb \cos \varphi}{\sum_{j=1}^N 1/V(j)} + b \cos \varphi,$$

где S — ширина фильтра на входе, м; N — число каналов; b — толщина пластины, м; φ — угол между направлением потока и пластинами, рад; i, j — номера каналов.

На рис. 23 приведено построение кривой, по которой необходимо установить входные кромки осадительных пластин, чтобы скорости в каналах были

равны. Эксперименты на аэродинамической модели фильтра показали, что при установке входных кромок осадительных пластин по кривым неравномерность скоростей не превышает 10%. Путем обработки экспериментальных данных по распределению скоростей в каналах при установке входных кромок осадительных пластин по прямой получено выражение, определяющее скорость в i -м канале:

$$v(i) = \frac{N v_{\text{ср}}}{\sum_{j=1}^N \left(1 + \frac{B_1}{N^2} \frac{b}{d}\right)^{j-1}} \left(1 + \frac{B_1}{N^2} \frac{b}{d}\right)^{i-1}, \quad (48)$$

где d — ширина канала, м; i, j — номера каналов; $v_{\text{ср}}$ — средняя по всем каналам скорость, м/с; $B_1 = 750$ — опытный коэффициент.

Эта формула справедлива для числа каналов $N = 15 \dots 60$ и для средних скоростей в каналах $v_{\text{ср}} = 2 \dots 5$ м/с. То, что в формулу (48) не входят изменения угла φ , объясняется малыми пределами изменения этого угла [$\varphi = (60 \dots 70)^\circ$]. При меньших значениях угла резко снижается выигрыш в площади фильтрации, а при больших невозможно достичь равномерного распределения из-за неточности установки входных кромок осадительных пластин. Экспериментально также установлено, что коэффициент аэродинамического сопротивления фильтра равен 3,4—3,5.

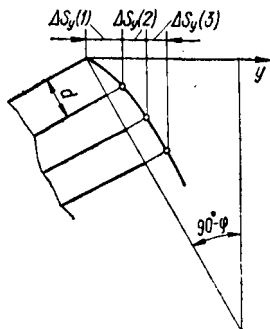


Рис. 23. Кривая установки входных кромок пластин: $\Delta S_y(1)$, $\Delta S_y(2)$, $\Delta S_y(3)$ — проекции отрезков, соединяющих две соседние входные кромки пластин, на ось y .

Как видно из приведенных выше рассуждений, основным параметром, определяющим эффективность электрофильтра, является плотность коронного тока.

На основании специальных исследований вольт-амперных характеристик системы электродов, принятых в предлагаемом фильтре, и обработки большого числа экспериментальных данных получено следующее выражение для коронного тока (Ам^{-1}):

$$j = \frac{A_1 \exp(-A_2 a_1)}{h^2} (U - A_3 h^{0,3}) U,$$

где a_1 — расстояние между соседними коронирующими иглками, м; h — расстояние между концами коронирующих иглол и осадительной пластиной, м; $A_1 = 5,64 \cdot 10^{-15} \text{А} \cdot \text{м} \cdot \text{В}^{-2}$, $A_2 = 2 \text{ м}^{-1}$, $A_3 = 2 \cdot 10^4 \text{ м}^{-0,3} \cdot \text{В}$ — постоянные коэффициенты, определяемые экспериментально. Формула получена для иглол высотой 5 мм и для расстояния между коронирующими электродами $H = 2 \dots 3 h$.

Исследования эффективности пылезадержания лабораторной моделью фильтра пыли крупностью 3 мкм (карборунд зеленый) и мелкой рудной пыли показали, что транспортировка пыли происходит в основном за счет электрического ветра, так как эффективность практически не зависит от слагаемого, содержащего разность потенциалов между коронирующим и осадительным электродом, и обуславливается действием электрических сил.

На основании экспериментальных данных получена следующая эмпирическая формула для определения эффективности разработанной конструкции фильтра:

$$\eta = 1 - \exp(-A_4 n \sqrt{\omega_\infty} / \sqrt{j h / k}),$$

где n — число коронирующих электродов; ω_{∞} — скорость набегающего потока, м/с; $A_4 = 3,8 \text{ м}^{3/2} \cdot \text{с}^{1/2} \cdot \text{Дж}^{-1/2}$ — постоянный коэффициент.

Так как в фильтре применена отрицательная корона, то $k = 2,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{В}^{-1}$.

На основании проведенных лабораторных исследований был разработан электрофильтр для очистки рудничного воздуха от пыли ФЭР-1 (рис. 24). Корпус 1 представляет собой коробчатую

конструкцию, в которой при помощи стенок образована камера 10 для установки осадительных и коронирующих электродов, а также подводящий 4 и отводящий 12 газоходы. К отводящему газоходу подсоединяется газоход равномерного отсоса 13, позволяющий подавать воздух из горизонтальной выработки в вертикальную. Осадительные пластины 14

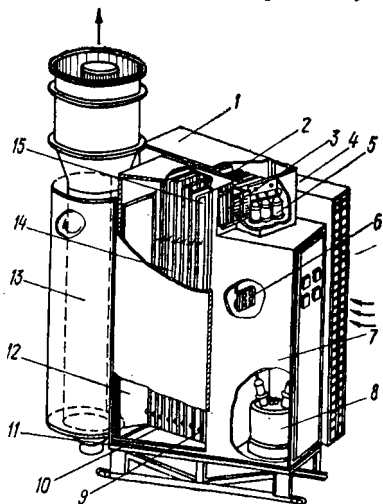


Рис. 24. Общий вид электрофильтра ФЭР-1.

разом, чтобы при сборе в пакет входные кромки их располагались по кривой линии, что обеспечивает равенство скоростей в каждом канале. В верхней и нижней частях осадительных пластин имеются изоляторные коробки 5. Сверху к изоляторам крепятся стержни 2 с винтовой нарезкой, на которых с помощью шайб и гаек крепятся рамки 15

коронирующих электродов. Винтовая нарезка позволяет легко регулировать расстояние концов иглокоронирующих электродов 3 от осадительных пластин. Внизу на изоляторах крепится третий стержень 9 с винтовой нарезкой, позволяющий фиксировать рамки с коронирующими электродами в нужном положении.

Электрофильтр питается от шахтной силовой сети напряжением 380 В. Для получения напряжения 12—15 кВ используется два трансформатора 8 типа ОМ-1,4, соединенных последовательно. Для выпрямления высокого напряжения служит полупроводниковый выпрямитель 6, собранный по мостовой схеме. Вся высоковольтная аппаратура установлена в отсеке 7.

Для предохранения изоляторов электрофильтра от загрязнения и связанных с этим утечек и пробоев предусмотрен их обдув очищенным и подогретым сжатым воздухом. Для этого в камере высоковольтной аппаратуры установлена труба-редуктор с гравийным фильтром и нагревательными электродами. В случае короткого замыкания на высокой стороне предусматривается токовая защита, а также установка ограничительного сопротивления в цепь электрофильтра.

Пыль с осадительных пластин удаляется водой, которая разбрызгивается из туманообразователей, установленных перед выходным газоходом. Вода, осевшая на осадительные электроды, вместе с частицами пыли стекает в поддон 11, а из поддона — в сточную канаву.

Воздух через электрофильтр протягивается при помощи вентилятора ВМ-5, установленного вертикально непосредственно на газоходе.

Для предохранения отдельных деталей от разрушения фильтр транспортируется частично

разобранном (отсоединяется вентилятор, улитка, из высоковольтного отсека извлекаются трансформаторы), а рамы коронирующих электродов фиксируются деревянными планками.

Фильтр устанавливается в устье восстающего, при этом не требуется специальной камеры для его установки.

Техническая характеристика фильтра ФЭР-1

Производительность	3 м ³ /с
Рабочее напряжение	14 кВ
Сила тока	180 мА
Гидравлическое сопротивление	160 Па
Максимальная запыленность на входе	10 мг/м ³
Эффективность очистки	95%
Остаточная концентрация	0,5 мг/м ³
Габаритные размеры:	
высота	1,8 м
ширина	0,7 м
длина	1,5 м

Промышленные исследования фильтра (табл. 11) были проведены на шахте «Комсомольская № 2» рудоуправления им. К. Либкнехта. Фильтр был установлен в восстающем 25 оси горизонта 452 м с целью очистки воздуха, поступающего из подготовительного на эксплуатационный горизонт 380 м.

Эксплуатация фильтра подтвердила экономическую целесообразность очистки воздуха, подаваемого из подготовительного на эксплуатационный горизонт. В этом случае отпадает необходимость в проведении дополнительных выработок для отвода запыленного воздуха на вентиляционный горизонт и резко сокращается потребность последнего в чистом воздухе.

Таблица 11

Результаты исследования
эффективности
пылеулавливания
фильтра

Запыленность, мг/м ³			Эффектив- ность, %
в забое	на входе в фильтр	фильтра	
2,9	1,8	0,2	88
3,4	2,4	0,2	92
2,5	2,0	0,1	95
3,2	1,7	0,1	94

Таблица 12

Результаты исследования
эффективности
пылеулавливания
электрофильтра
в зависимости от крупности
пыли

Крупность пыле- вых частиц, мкм	Эффективность пыле- улавливания, %		
	общая	инерци- онная	электри- ческая
3	97,0	46,0	94,4
5	98,4	58,3	96,2
10	99,0	64,6	97,2
14	99,5	75,2	98,5

2. ЭЛЕКТРОФИЛЬТР С ПОСАДКОЙ ПЫЛИ НА ВОДНУЮ ПОВЕРХНОСТЬ

Надежность удаления осевшей пыли с осадительных электродов в мокрых электрофильтрах зависит от расхода воды и равномерного распределения водной пленки по всей осадительной поверхности. Ввиду значительной площади осадительных электродов практически сложно осуществлять равномерный смыв осевшей пыли. Это приводит к налипанию пыли на осадительных электродах. Поэтому мокрые электрофильтры применяются в основном для очистки тонкодисперсной пыли при небольшой начальной запыленности. Изготовление плоских и достаточно жестких осадительных электродов для мокрых электрофильтров сопряжено с такими же

техническими трудностями, как и для сухих электрофильтров.

Во ВНИИБТГ создан электрофильтр, в котором осадительным электродом служит емкость, заполненная водой [35]. Использование поверхности воды в качестве осадительного электрода позволяет получать ровный осадительный электрод независимо от его размера; поддерживать чистой поверхность осаждения, так как пылевые частицы, не успевшие погрузиться в воду при осаждении, непрерывно удаляются из активной зоны вместе с поверхностным слоем воды, который перемещается за счет контакта с движущимся воздушным потоком; повысить скорость фильтрации запыленного потока путем исключения процесса вторичного срыва осевшей пыли.

Для качественной оценки процесса осаждения пыли было рассмотрено движение частиц под действием электрических сил в канале электрофильтра (рис. 25), в котором верхняя плоскость выполнена из диэлектрика. Над поверхностью воды размещены проволочные коронирующие электроды [11].

Траектории движения частиц представлены графически на рис. 26. Из графиков видно, что осаждаются только те частицы, которые попали в область между коронирующими и осадительными электродами. Таким образом, для эффективной работы фильтра необходимо поджимать входящий поток к поверхности осаждения. Поджатие воздушного потока позволяет усилить действие инерционных сил.

Конструкция очистительного канала (рис. 27), в котором возможно осуществить многократное поджатие очищаемого потока к осадительной плоскости, выполнена следующим образом [36]. К верхней стенке 4 прикреплены на определенном расстоянии

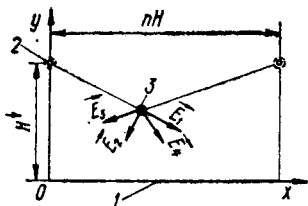


Рис. 25. Схема взаимодействия заряженной частицы с системой электродов «два проводника — пластина»:

1 — пластина; 2 — коронирующий электрод; 3 — заряженная частица; $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \vec{E}_4$ — векторы напряженности; H — расстояние между коронирующим и осадительным электродами; nH — расстояние между смежными коронирующими электродами.

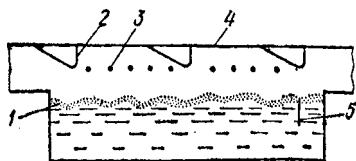


Рис. 27. Схема канала электрофильтра с многократным поджатием очищаемого потока.

параллельно друг к другу и перпендикулярно к очищаемому потоку плоскости поджатия 2. Между ними и параллельно им размещаются коронирующие электроды 3. Осадительным электродом служит емкость 1, заполненная водой. В верхней ее части по всей ширине устанавливается перегородка

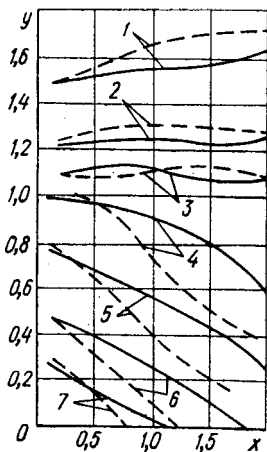


Рис. 26. Траектории движения частиц в канале электрофильтра:

1 — $y=1,5$; 2 — $y=1,2$; 3 — $y=1,1$; 4 — $y=1$; 5 — $y=0,8$; 6 — $y=0,5$; 7 — $y=0,3$; штриховая — при $n=2$; сплошная — при $n=1$.

5, которая выступает над уровнем воды так, чтобы образовавшиеся волны за счет поджатия потока имели возможность перемещать верхний слой воды через торец перегородки. Аэродинамические исследования изготовленного в натуральную величину канала электрофильтра с многократным поджатием воздушного потока показали следующее. Средняя скорость фильтрации воздушного потока может достигнуть 10 м/с, дальнейшее увеличение скорости приводит к срыву капельной жидкости с поверхности воды. Максимальная амплитуда поверхностных волн не превышает 9 мм.

Техническая вода является плохим проводником тока. Поэтому представляло интерес изучение вольт-амперных характеристик в электрофильтрах с использованием в качестве осадительного электрода поверхности воды, а также сравнения их с вольт-амперными характеристиками при замене воды насыщенным раствором соли NaCl и с вольт-амперными характеристиками электрофильтров с металлическими осадительными электродами. Осадительная емкость для этих опытов была выполнена из органического стекла. На игольчатые и осадительный электроды подавалось высокое напряжение. Вольт-амперные характеристики снимались при межэлектродном расстоянии, равном 30, 25, 20 и 15 мм. Опыты показали, что редуцированные характеристики для всех рассмотренных схем электрофильтров практически одинаковы.

Повфракционная эффективность электрофильтра с посадкой пыли на водную поверхность исследовалась в лабораторных условиях на модели со следующими параметрами: длина активной зоны канала 0,8 м; ширина — 0,4 м; высота — 0,06 м; расстояние между остриями игольчатых коронирующих электродов и поверхностью осаждения — 0,035 м.

В опытах использовались монодисперсные фракции корундовой пыли размером 3, 5, 10, 14 мкм. Эксперименты проводились с подачей напряжения на электроды и без напряжения. Результаты показали (табл. 12), что при скорости фильтрации 6 м/с, рабочем напряжении 15 кВ, токе короны 1,2 мА и запыленности до фильтра 460 мг/м³ с увеличением крупности пыли повышается не только инерционная эффективность пылеулавливания, но и электрическая составляющая эффективности очистки воздуха. При высоте канала 0,06 м, межэлектродном расстоянии 0,035 м, рабочем напряжении 13,6 кВ и токе короны 0,276 мА/м с возрастанием скорости очищаемого потока осаждение пылевых частиц под действием электрических сил снижается, в то же время за счет инерционных сил растет. Это позволяет поддерживать постоянной общую эффективность пылеулавливания фильтра (табл. 13).

Таблица 13

Результаты исследования эффективности пылеулавливания электрофильтра в зависимости от скорости фильтрации

Скорость фильтрации, м/с	Запыленность, мг/м ³			Эффективность пылеулавливания, %		
	до фильтра	после фильтра (с электричеством)	после фильтра (без электричества)	электрическая	инерционная	общая
7	1593	62,1	180,0	65,4	88,7	96,1
6	1593	58,9	216,7	72,8	86,4	96,3
5	1593	52,6	219,9	76,0	86,2	96,7
4	1593	47,8	334,6	85,7	79,0	97,0
3	1593	79,7	431,8	81,5	72,9	95,0
2	1593	41,4	380,8	89,2	76,1	97,4

Проведенные теоретические и лабораторные исследования позволили определить основные параметры электрофильтров: скорость фильтрации, высоту очистительного канала; размер и место установки плоскостей поджата, место установки коронирующих электродов, высоту перегородок в осадительных емкостях и др. Полученные данные были положены в основу разработки скоростных электрофильтров типа ЭС.

Для очистки аспирационных выбросов на ГОКах была разработана конструкция электрофильтра ЭС-2 (рис. 28). Между двух изоляторных коробок 6 размещены три осадительные емкости 4. Над каждой емкостью располагается ограничительная стенка 3, к которой прикреплены плоскости поджата 2. Коронирующие электроды 1 закреплены в рамках, установленных на изоляторах. Нижняя часть осадительной емкости представляет собой сливную воронку с отверстием диаметром 40 мм. Сливная ограничительная система предотвращает поднятие уровня воды выше контрольного. Свежая вода подается по распределительной системе, отводится из емкостей по системе труб 8. Для подачи загрязненного и отвода очищенного потока воздуха используются газоходы равномерной раздачи воздуха 5 и 7. Ширина очистительного канала равна 200 м, длина активной зоны — 1500 мм. В каждом из трех каналов размещено по 15 игольчатых коронирующих электродов. Натяжка коронирующих электродов осуществляется с помощью грузов. Расстояние между коронирующими электродами равно 90 мм, межэлектродное пространство — 80 мм. Питание электрофильтра включает низковольтный (автоматический пускатель АП-50 на 15 А, электронный ограничитель тока, вольтметр, амперметр) и высоковольтный блоки (высоковольтный трансформатор,

двухпериодный выпрямитель из диодов Д-1008). Рабочее напряжение составляет 50 кВ, корона отрицательная.

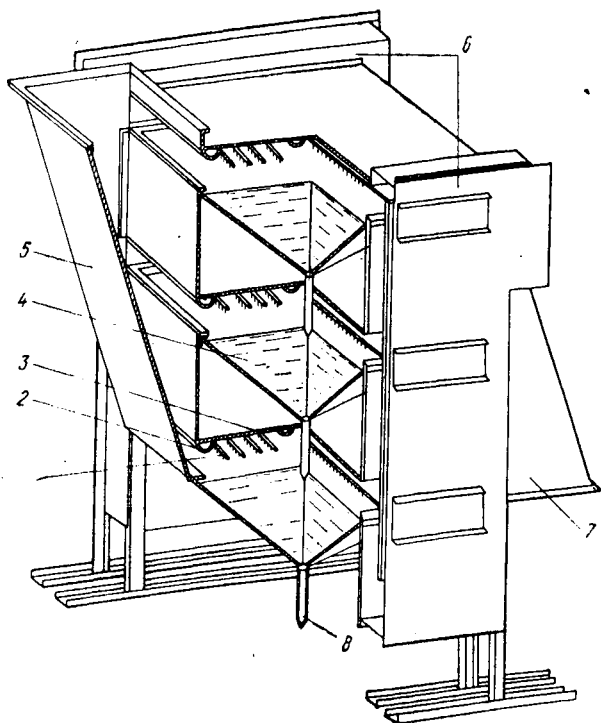


Рис. 28. Схема электрофилтра ЭС-2.

После заполнения осадительных емкостей водой от блока питания электрофилтра подается высокое напряжение. За счет разности потенциалов между иглками коронирующих электродов и поверхностью воды возникает коронный разряд. При пода-

че запыленного воздуха пыль заряжается и под действием электрических, инерционных и гравитационных сил осаждается на поверхность воды. Для интенсификации удаления осевшей пыли с поверхности воды в осадительной емкости перпендикулярно к движению очищаемого потока установлены две переливные плоскости. За счет плоскостей поджата очищаемый поток поджимается к водной поверхности и способствует образованию поверхностных волн. Амплитуда волн, как показали промышленные испытания, не превышает 6 мм, но этого достаточно, чтобы верхний слой воды перетекал через плоскость, которая на 2—3 мм выступает из воды. Погруженная в воду пыль непрерывно удаляется вместе с водой из емкостей. Ограничительная система позволяет поддерживать постоянный уровень воды.

Электрофильтр ЭС-2 прошел промышленные испытания на аглофабрике № 1 НКГОКа при очистке аспирационных выбросов.

Техническая характеристика фильтра ЭС-2

Производительность	40 тыс. м ³ /ч
Рабочее напряжение	40 кВ
Сила тока	50 мА
Гидравлическое сопротивление	300 Па
Эффективность очистки	99%
Скорость фильтрации в канале	9 м/с
Расход воды на 1 м ³ очищаемого воздуха	0,1 л
Габаритные размеры:	
высота	3,8 м
ширина	3 м
длина	3 м

При средней начальной запыленности 5 г/м³ содержание пыли в очищенном воздухе не превышало 30 мг/м³.

Электрофильтр ЭС-3 (рис. 29) предусматривается применять для очистки аспирационного воздуха при начальной запыленности 30—50 мг/м³. В подземных условиях он может быть установлен в аспи-

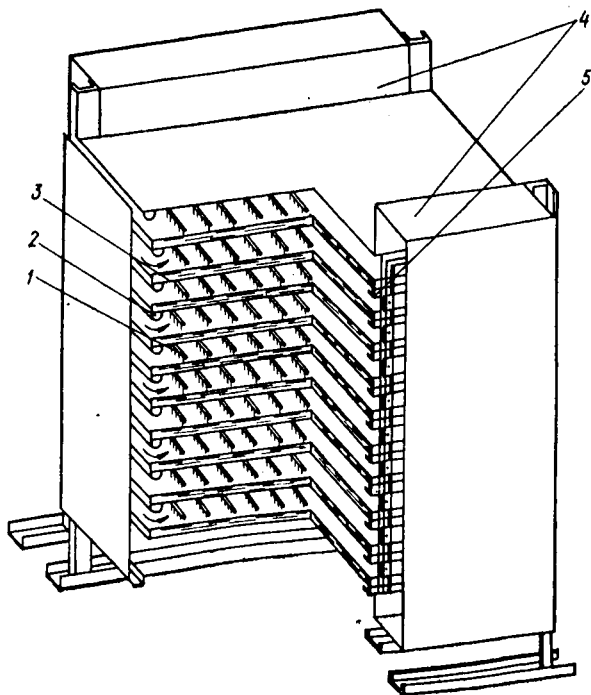


Рис. 29. Схема электрофильтра ЭС-3.

рационных системах на опрокидах, в камерах загрузки бункеров на перегрузочных узлах в наклонных стволах и т. д.

В отличие от ЭС-2 в ЭС-3 осадительные емкости 3 выполнены в виде прямоугольных коробок высо-

той 60 мм, длиной 1100 мм, ширина емкостей определяется производительностью фильтра. Для очистки 3 м³/с запыленного воздуха ширина осадительных емкостей равна 0,5 м, для очистки 12 м³/с — 2 м. Емкость снабжена сливным каналом, образованным стенкой и перегородкой, которая ниже стенки на 15 мм. Сливной канал имеет патрубок для удаления воды. С внешней стороны дна емкостей прикреплены плоскости поджатия 2. Осадительные емкости 3 устанавливаются на опорных полках 5 изоляторных коробок 4, где размещены изоляторы, на которых смонтированы рамы для крепления и регулировки игольчатых коронирующих электродов 1. Для постоянного поддержания чистой водной поверхности во все емкости непрерывно подается вода. Расчеты показывают, что при начальной запыленности воздуха 50 мг/м³ и работе фильтра по 24 ч для заполнения всех десяти осадительных емкостей уловленным материалом необходимо, чтобы фильтр проработал 2 месяца. С учетом непрерывного обновления осадительной поверхности срок очистки емкостей увеличивается до 3 мес.

Опытный образец электрофильтра ЭС-3 производительностью 6 м³/с установлен в наклонном стволе шахты № 2 им. Артема рудоуправления им. Кирова.

Техническая характеристика фильтра ЭС-3

Производительность	20 тыс. м ³ /ч
Рабочее напряжение	15 кВт
Сила тока	30 мА
Гидравлическое сопротивление	200 Па
Эффективность очистки	99%
Скорость фильтрации	9 м/с
Расход воды на 1 м ³ очищаемого воздуха	0,05 л
Габаритные размеры:	
высота	1,6 м
ширина	2 м
длина	1,2 м

3. СУХИЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРЫ С ФОРСИРОВАННЫМ РЕЖИМОМ ОЧИСТКИ

Сухие электрофильтры все шире применяются на горнорудных предприятиях. Малая скорость фильтрации и унос осевшей пыли требуют больших фильтров. Повышения их производительности (без увеличения габаритов) и увеличения эффективности пылеулавливания можно достичь за счет использования инерционных, электродинамических и гравитационных сил, а также изменения конструкций фильтра и предотвращения срыва осевшей пыли. В качестве примера приведем наиболее характерные конструкции электрофильтров с использованием инерционных сил.

Электрофильтр [21] содержит коронирующий электрод, помещенный в трубчатый осадительный электрод, в нижней части которого установлена насадка в виде патрубка с расположенными в нем наклонно или криволинейно ребрами. Через насадку в осадительный электрод подают загрязненный воздух, который под действием ребер начинает движение по винтовой траектории. Под действием центробежных сил твердые частицы прижимаются к осадительному электроду, что способствует интенсификации осаждения пыли в электрофильтре.

В работе [38] дано описание совмещенного аппарата очистки газов, называемого центробежным электрофильтром, или электроциклоном. В общем корпусе аппарата размещены циклоны (с тангенциальным вводом газа) и электрофильтр с коаксиальными электродами. Корпусом служит цилиндрическая оболочка циклона, внутри которой параллельно центральной выхлопной трубе расположено несколько концентрических цилиндров, выполняющих функции осадительных электродов. По-

середине образовавшихся кольцевых газоходов находятся коронирующие электроды в виде проволок или перфорированных коаксиальных цилиндров, установленных на изоляторах. Газы входят через центральную трубу.

В сухих однозонных электрофильтрах эффективность пылеулавливания зависит не только от скорости дрейфа частиц, но и от процессов, протекающих на поверхности осадительных электродов. При чистой осадительной поверхности эффективность очистки воздуха от пыли (средний медианный диаметр 9 мкм) достигает 98% даже для длины активной зоны 0,3 м и скорости фильтрации 3 м/с. С накоплением слоя пылевых частиц на осадительных электродах соответственно снижается ток короны и эффективность пылеулавливания. Известно, что слой толщиной 3 мм снижает эффективность очистки воздуха от пыли с 99 до 70%.

Для поддержания высокой эффективности пылеулавливания необходимо увеличить длины осадительных пластин, что предусматривается практически в современных конструкциях электрофильтров (активная зона до 10 м), или разрабатывать конструкции электрофильтров с интенсивным режимом очистки осадительных электродов. Таким является фильтр с форсированным режимом очистки осадительных электродов [42]. В коробчатом корпусе размещены вращающиеся трубчатые осадительные электроды, которые снабжены полыми обтекателями-ловушками. Внутри ловушек расположены скребки для снятия пыли с осадительных электродов. Ловушки в нижней части соединены с бункером для сбора пыли. Перед осадительными электродами установлен коронирующий электрод. Вращение осадительных электродов осуществляется электродвигателем через редуктор.

При подаче высокого напряжения за счет энергии газовых ионов, образующихся при коронном разряде, в электрофильтре создается воздушный поток. Вследствие хорошей обтекаемости осадительных электродов и совпадения направления движения газовых ионов с движением потока воздуха скорость в фильтре можно изменять в зависимости от плотности тока. Осадительные электроды непрерывно медленно вращаются, и скребки снимают осевшую пыль с их поверхности. Ввиду того, что в полый ловушке нет движения воздуха, пыль под действием собственной массы опускается в бункер.

Во ВНИИБТГ создан электрофильтр с осадительными электродами, установленными под углом к горизонтальной плоскости. Электрофильтр состоит из коробчатого корпуса, на крышке которого смонтировано встряхивающее вибрационное устройство с прикрепленной к его штангам верхней решеткой осадительного электрода. Нижняя решетка осадительного электрода одной стороной прикреплена к верхней решетке шарнирами. С противоположной стороны нижняя решетка соединена со штоком исполнительного механизма, с помощью которого она может опускаться вниз, при этом между решетками образуется зазор. Под каждым осадительным электродом расположен индивидуальный бункер, соединенный с бункером-наполнителем. По бокам корпуса размещены изоляторные коробки, в которых на отдельных изоляторах установлены рамки для крепления коронирующих электродов. Загрязненный воздух подается по общему подводящему газоходу, откуда через насадок равномерной раздачи распределяется по очистительным каналам электрофильтра. Делительные плоскости насадков закреплены на раме нижней

решетки. Очищенный воздух отсасывается по отводящему газоходу. Уловленный материал периодически выпускается из бункера-накопителя на транспортер. Верхняя стенка очистительного канала снабжена плоскостями поджатия.

От высоковольтного источника питания на электроды подается напряжение. Входящий через подводящий газоход воздух распределяется по насадкам равномерной раздачи. Делительные плоскости служат не только для выравнивания потока, но являются первой ступенью очистки воздуха от крупных частиц. Неуловленные частицы заряжаются и осаждаются на осадительных электродах. Установленные в канале плоскости поджатия несколько раз поджимают очищаемый поток к осадительному электроду и интенсифицируют процесс улавливания пыли. После накопления определенного слоя сначала включается исполнительный механизм и нижняя решетка опускается с одной стороны вниз, затем включается встряхивающее вибрационное устройство. За счет вибрации осевший слой пыли сползает в индивидуальный бункер, а оттуда под действием собственной массы по наклонной плоскости индивидуального бункера в бункер-накопитель. После отключения вибратора нижняя решетка занимает рабочее положение. Накопленный материал периодически удаляется из бункера и по транспортеру направляется в технологический цикл. Наклонное расположение осадительного электрода практически полностью исключает вторичный унос пыли при его встряхивании и позволяет чаще удалять пыль с осадительной плоскости.

Изучение динамики осаждения твердых частиц в однозонном электрофилт্রে показало, что наибольшее количество частиц осаждается непосредственно под коронирующими электродами, что

объясняется повышенной напряженностью и действием электрического ветра.

Увеличение количества коронирующих электродов, приходящихся на единицу площади осадительного электрода, ведет к ухудшению вольт-амперной характеристики фильтра, вследствие чего резко снижается эффективность очистки воздуха от пыли.

Для использования повышенной напряженности электрического поля в межэлектродном пространстве по всей площади осадительного электрода был разработан способ осаждения твердых частиц под действием перемещающейся зоны коронного разряда. Коронирующие электроды располагаются на минимально возможном расстоянии друг от друга и в то же время соединяются группами так, что при поочередном включении каждой группы под напряжением оказываются электроды, находящиеся на оптимальном расстоянии друг от друга (от одного до двух расстояний между коронирующим и осадительным электродами) [37]. Если скорость переключения групп на порядок выше скорости движения частиц, то они осаждаются под действием поля повышенной напряженности.

Проанализируем движение частиц в таком поле для системы электродов пластина — шесть параллельных проводников, собранных по два в три группы, включаемых поочередно (рис. 30). Так как в принятом интервале времени t_1 в заданной точке пространства на частицу действует поле напряженностью $\vec{E}_1$, созданное электродами 1—1', в интервале t_2 — поле напряженностью $\vec{E}_2$, созданное электродами 2—2', в интервале времени t_3 — поле напряженностью $\vec{E}_3$, созданное электродами 3—3', в интервале времени t_4 — поле напряженностью $\vec{E}_4$,

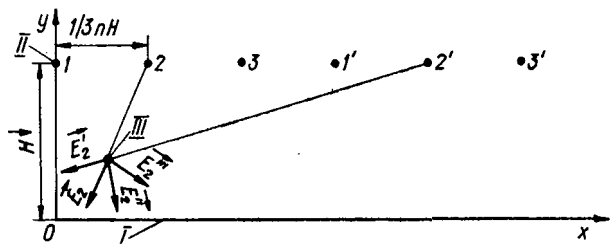


Рис. 30. Схема взаимодействия заряженной частицы с системой электродов пластина — шесть проводников, соединенных по два в три группы:

I — пластина; *II* — коронирующий электрод; *III* — заряженная частица; *H* — расстояние между коронирующим и осадительным электродом; $\frac{1}{3} n H$ — расстояние между смежными коронирующими электродами.

созданное электродами 1—1' и т. д., то формулу изменения напряженности поля во времени найдем разложением периодической функции $E(t)$ в ряд Фурье для составляющих $E_x(t)$ и $E_y(t)$. Ограничиваясь первыми пятью членами ряда, получаем

$$E_x(t) = \frac{1}{3} (E_{1x} + E_{3x}) + \frac{\sqrt{3}}{2\pi} [E_{1x} + 2E_{2x} + E_{3x}] \times \\ \times \left(\cos \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{2} \cos \frac{4\pi}{T} t + \frac{1}{4} \cos \frac{8\pi}{T} t - \right. \\ \left. - \frac{1}{5} \cos \frac{10\pi}{T} t \right) + \frac{3}{2\pi} (E_{1x} - E_{3x}) \left(\sin \frac{8\pi}{T} t + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi}{T} t + \frac{1}{4} \sin \frac{8\pi}{T} t + \frac{1}{5} \sin \frac{10\pi}{T} t \right); \quad (49)$$

$$E_y(t) = \frac{1}{3} [E_{1y} + E_{2y} + E_{3y}] + \frac{\sqrt{3}}{2\pi} (E_{1y} + 2E_{2y} + \\ + E_{3y}) \left(\cos \frac{2\pi}{T} t - \frac{1}{2} \cos \frac{4\pi}{T} t + \frac{1}{4} \cos \frac{8\pi}{T} t - \right.$$

$$-\frac{1}{5} \cos \frac{10\pi}{T} t \Big) + \frac{3}{2} \pi (E_{1y} - E_{3y}) \left(\sin \frac{2\pi}{T} t + \right. \\ \left. + \frac{1}{2} \sin \frac{4\pi}{T} t + \frac{1}{4} \sin \frac{8\pi}{T} t + \frac{1}{5} \sin \frac{10\pi}{T} t \right). \quad (50)$$

Учитывая изменение напряженности поля во времени, траектории движения частиц в канале электрофилтра под действием электрического поля перемещающейся зоны коронного разряда вычисляем с помощью системы уравнений [11] численным методом с использованием ЭВМ МИР-1 при следующих начальных условиях: $x/t=0 = x_0$; $y/t=0 = y_0$; $dx/dt = v_{x_0}$; $dy/dt = v_{y_0}$.

Задача решалась в предположении, что движение среды является потенциальным одномерным при следующих значениях: $x_0 = 0,1$; $y_0 = 0,3$; $y_0 = 0,5$; $0,8$; 1 ; $1,1$; $1,2$; $1,5$; $1,8$; $v_{x_0} = 0,99$; $v_{y_0} = 0,005$; $n = 1$; 2 ; $Stk = 0,07$; $T = 0,003$; $t = 2$.

Частицы пыли под действием электрического поля перемещающейся зоны коронного разряда быстрее достигают осадительной пластины, чем под действием стационарного электрического поля (обычный способ) при равнозначных начальных условиях (рис. 31).

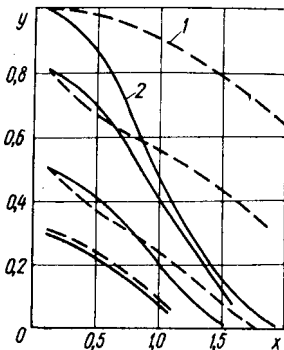


Рис. 31. Траектория движения частиц в канале электрофилтра при $n=2$ в электрическом поле: 1 — стационарном; 2 — нестационарном.

Экспериментальную проверку проводили, используя 3-микронную корундовую пыль, при расстоянии между коронирующими и осадительными электродами, равном 35 мм, и скорости фильт-

рации $v = 3,6$ м/с. Напряжение, подводимое к электродам, составляло 1,2 кВ, скорость перемещения коронного разряда над осадительной плоскостью — 38,6 м/с. Среднеарифметические значения эффективности улавливания пыли без перемещения и с перемещением коронного разряда соответственно составляли 79 и 86,9%.

Применение новых конструкций однозонных электрофильтров с форсированным режимом очистки осадительных электродов в сочетании со способом интенсификации осаждения пылевых частиц под действием перемещающейся зоны коронного разряда позволяет повысить скорость фильтрации очищаемого потока до 5 м/с. Кроме того, использование перемещающейся зоны коронного разряда уменьшает срыв осевшей пыли с осадительной пластины (табл. 14), прежде всего, за счет более

Таблица 14

Результаты исследования срыва пыли с осадительного электрода *

Срыв пыли, %, при скорости фильтрации, м/с			Режим питания электрофильтра	
4,5	7	10	при осаждении пыли	при срыве пыли
0,69	0,50	60,50	Стационарный	Нестационарный
1,85	42,29	75,97	»	Стационарный
3,561	22,23	88,96	Нестационарный	Нестационарный
6,51	73,56	91,65	»	Стационарный
45,29	88,16	90,60	Стационарный	Стационарный **

* Опыты проводились на железорудной пыли Кривбасса.

** При опытах по срыву пыли коронирующий электрод заменен металлической пластиной.

равномерного распределения по площади осадительного электрода отрицательных или положительных ионов, образующихся в области коронного разряда.

Глава IV

КОНТРОЛЬ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА И РАБОТЫ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

1. ИЗМЕРЕНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУХА

Наиболее удобными для замера температуры воздуха являются ртутные психметрические термометры с пределами измерений от -35 до $+50^{\circ}\text{C}$ и ценой деления $0,2^{\circ}$. Для замера температуры технологических газов и аспирационного воздуха используются технологические термометры (ТТ) с пределами измерений $0-50$ и $0-500^{\circ}\text{C}$.

Для автоматической записи температуры применяются термографы с суточным и недельным заводом часового механизма. Датчиком температуры в современных термографах служит биметаллическая пластинка, деформация которой при изменении температуры окружающего воздуха передается системой рычагов на записывающее устройство. При замере низких температур используются спиртовые термометры.

В воздуховодах температуру измеряют либо стационарно установленными термометрами, либо периодическим введением термометров через отверстия в воздуховоде. В последнем случае показания необходимо снимать через 3—5 мин после введения термометра. Глубина погружения термометра

должна соответствовать той, при которой они тарированы. Эта величина указывается в тарировочном свидетельстве.

Кроме указанных приборов, можно использовать самопишущие манометрические термометры, термометры сопротивления и термоэлектрические пирометры, правила установки и эксплуатации которых излагаются в инструкциях к этим приборам.

Относительная влажность воздуха измеряется в процентах или долях единицы и наиболее точно определяется аспирационным психрометром. Непосредственно относительную влажность замеряют волосяными гигрометрами. Действие прибора основано на свойстве обезжиренного волоса менять свою длину в зависимости от относительной влажности. Для автоматической записи относительной влажности используют гигрографы с суточным и недельным заводом часового механизма.

Очень часто по воздуховодам движется пересыщенный водяными парами воздух, в котором часть влаги находится в капельно-жидком состоянии. Количество капельной влаги можно определить фильтрацией паровоздушной смеси через фильтры из стекловолна, помещенные в аллонжи, герметически закрывающиеся притертыми пробками. Порядок отбора проб воздуха аналогичен отбору для определения запыленности ненагретых газов (см. § 2).

Для определения дисперсного состава, капель воды в поток воздуха на 1—2 с помещают стеклянную пластинку шириной 5 мм, покрытую тонким слоем иммерсионного масла. Затем пластинку помещают под микроскоп и фотографируют при выдержке 1 с фотоаппаратом с зеркальной наводкой. Для освещения используется лампа мощностью 150 Вт, расположенная на расстоянии 1 м. По фото-

отпечаткам микрометрической сеткой определяют размер капель.

Для измерения атмосферного давления применяются ртутные барометры и барометры-анероиды. Более точны ртутные барометры. Из-за повышенной чувствительности к посторонним воздействиям их можно использовать в качестве контрольных для проверки барометров-анероидов и барографов в стационарных условиях. Наиболее простыми и удобными для использования являются барометры-анероиды, принцип действия которых основан на деформации металлических анероидных коробок при изменении атмосферного давления. Для автоматической непрерывной записи атмосферного давления используются барографы.

Скорость воздушного потока замеряют анемометрами: крыльчатыми — при скорости от 0,3 до 5 м/с и чашечными — при скорости от 5,0 до 20 м/с. Ось крыльчатки или чашечек посредством червячной передачи передает вращение редуктору счетного механизма, который имеет три стрелки. Большая стрелка отсчитывает единицы и десятки, а две малые — сотни и тысячи. В небольших воздуховодах (до 200×200 мм) скорость в одной центральной точке замеряют анемометрами, а в воздуховодах с большой площадью поперечного сечения — медленным перемещением по всему сечению. Для замера скоростей воздуха до 30 м/с используется индукционный анемометр АРИ-49, действие которого основано на измерении скорости вращения трехчашечной вертушки электрическим индукционным тахометром. Скорость замеряется только по точкам. Как правило, анемометры должны тарироваться один раз в полгода, а при работе в запыленной среде — через два месяца на специальных установках или в аэродинамической трубе.

Скорость движения воздуха можно также определить термоанемометрами, выпускаемыми экспериментальными мастерскими Ленинградского института охраны труда, и электротермоанемометрами ЭТАМ-ЗА Всесоюзного теплотехнического института. Последний прибор очень чувствителен, однако используется он преимущественно в лабораторных условиях, так как является громоздким и сложным в эксплуатации.

Полное, статическое и скоростное (динамическое) давление воздушного потока в воздуховодах измеряется пневмометрическими трубками, которые присоединяются резиновыми трубками к жидкостным манометрам. Для определения поправочного коэффициента каждая пневмометрическая трубка должна тарироваться. При тщательном изготовлении трубок коэффициент практически может быть равным единице.

Наиболее простым прибором для измерения давления воздушного потока является U-образный стеклянный манометр, который применяется при перепадах давления не менее 500 Па. Для более точных замеров от 10 до 2000 Па используют тягонапомеры или микроманометры. Для замера давления в воздуховодах выбирается участок на расстоянии не менее пяти диаметров от последнего местного сопротивления и не менее двух до последующего, создающего возмущение потока. На этом участке воздуховода делают специальные отверстия по двум взаимно перпендикулярным направлениям для пневмометрической трубки. Для замеров диаметр круглого или сторона прямоугольного воздуховода разбивается на 6—16 равных частей, число которых зависит от размера стороны или диаметра воздуховода. При замерах микроманометр устанавливают строго горизонтально и корректируют нуль. Для

лучшей видимости в спирт добавляют метиловый краситель концентрации 0,05 г/л. Прибор для измерений включают таким образом, чтобы давление над спиртом в резервуаре было больше, чем в измерительной трубке. Тогда уровень спирта в измерительной трубке будет подниматься и его можно фиксировать. Истинное давление (Па)

$$h = 9,8h_m K \Pi,$$

где h_m — показания микроманометра, мм; K — коэффициент, принимаемый в зависимости от угла наклона шкалы (указан на дуге микроманометра); Π — погрешность прибора в зависимости от изменения плотности спирта под влиянием температуры и концентрации спирта (указывается в таблице, прилагаемой к прибору).

По величине скоростного давления можно определить скорость воздуха в воздуховоде

$$v = \sqrt{2p/\rho},$$

где v — скорость воздуха, м/с; p — динамическое давление, Па; ρ — плотность воздуха, кг/м³.

Минимальные скорости, которые можно измерить пневмометрическими трубками, составляют: при отсчете по микроманометру 3—4 м/с; при отсчете по U-образному манометру 7—8 м/с.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАПЫЛЕННОСТИ ВОЗДУХА И ДИСПЕРСНОГО СОСТАВА ПЫЛИ

Запыленность воздуха определяется весовым (гравитационным) методом, выражающим запыленность в весовых единицах (мг/м³), и счетным (кониметрическим) методом, характеризующим запыленность числом пылевых частиц в единице (обычно 1 см³) воздуха. В нашей стране при определении запылен-

ности воздуха весовой метод является стандартным и обязательным. Действующие санитарные нормы предельно допустимой концентрации минеральной пыли в воздухе промышленных предприятий установлены в весовых единицах.

Весовой метод определения запыленности. Через предварительно взвешенный фильтр пропускается определенное количество воздуха. После взятия пробы фильтр взвешивается. По известному объему просасываемого через фильтр воздуха и навеске пыли на этом фильтре определяют запыленность воздуха:

$$N = [(n_1 - n_2)/qt] \cdot 1000, \quad (51)$$

где n_1 — масса запыленного фильтра, мг; n_2 — масса чистого фильтра, мг; q — объем просасываемого за 1 мин воздуха, л; t — продолжительность отбора пробы, мин.

При запыленности воздуха более 100 мг/м³ могут применяться ватные фильтры массой 0,5 г, помещенные в стеклянные, аллонжи обычные или с притертыми пробками. Плотность ватного фильтра должна быть такой, чтобы при пропускании воздуха со скоростью 20 л/мин сопротивление его составляло 1000 Па. Весьма трудоемким процессом является доведение аллонжа до постоянной массы до и после взятия пробы. Наиболее рациональным является способ вакуумной сушки аллонжей с ватными фильтрами, а также применение негигроскопических фильтров из стекловолокна и др.

При небольшой запыленности воздуха отбор проб пыли ватными фильтрами становится нерациональным, так как для получения представительной навески пыли (6 мг) требуется значительное время. В этом случае следует применять фильтры АФА, изготавливаемые из ткани ФПП, которые

имеют хорошие фильтрующие свойства (80 л/мин) и высокий коэффициент пылеулавливания (99,9%); небольшую собственную массу (40—60 мг), что позволяет даже при низкой запыленности получить представительную навеску в течение небольшого времени; постоянное аэродинамическое сопротивление (1000—1100 Па), исключающее необходимость проверки перед отбором проб; негигроскопичны и при любой влажности воздуха сохраняют постоянную массу. Фильтры АФА вставляют в металлические или пластмассовые патроны-фильтродержатели.

Для удобства пользования патроны и аллонжи помещают в магазины, что исключает возможность попадания на фильтры пыли и грязи при транспортировке их и повышает производительность пробоотборщика.

В местах отбора проб, где есть сжатый воздух, в качестве аспиратора можно использовать эжектор с регулятором постоянного давления. Там же, где нет сжатого воздуха, а есть электроэнергия, в качестве аспиратора применяют электрические аспираторы (электровоздуходувки) или обычные бытовые пылесосы. Там, где сжатого воздуха и электроэнергии нет, следует применять рудничный эжекторный аспиратор АЭР-4. Действие прибора основано на просасывании запыленного воздуха через патрон с фильтром под действием эжектора, который работает от сжатого воздуха, поступающего через редуктор из стального двухлитрового баллона.

Перед взятием проб проверяют исправность аппаратуры (аспиратора, резиновых трубок, литромеров и др.). Взвешивают фильтры на аналитических весах с точностью 0,1—0,06 мг. Наиболее распространенными являются весы АДВ-200 ленинградского завода «Госметр». Значение массы

каждого фильтра и его порядковый номер записывают в лабораторный журнал. Номер фильтра АФА проставляют на пакетах и на бумажном кольце, в котором хранится фильтр. Если для отбора проб используются магазины с металлическими патронами, то в лабораторный журнал записывают номера магазина и патрона.

На месте взятия пробы патрон укрепляют в металлическом штативе и соединяют резиновыми трубками последовательно с литромером и эжектором или другими аспирационными приборами. Включают аспирационный прибор и зажимами на резиновых трубках устанавливают расход воздуха по литромеру. В течение всего времени отбора пробы необходимо следить по ротаметру за расходом воздуха, который должен быть постоянным (20—60 л/мин).

Продолжительность взятия пробы зависит от степени запыленности воздуха, скорости отбора пробы и необходимой навески пыли на фильтре. Минимальная навеска пыли на фильтре АФА должна составлять 2 мг, а максимальная — 25 мг. Если применяются аллонжи с ватными фильтрами, то минимальная навеска должна быть 6 мг. После отбора проб патроны с фильтрами вновь взвешивают на тех же весах. Запыленность воздуха определяется по формуле (51).

Пробы запыленного воздуха из вентиляционных и технологических воздухопроводов отбирают в основном методом внешней фильтрации через патрон или аллонж, расположенный вне воздуховода. Исследуемый воздух подводится к патрону пылеотборной трубкой, вставленной в воздуховод отверстием против потока.

Для получения достоверных результатов скорость воздуха на входе в пылеотборную трубку

должна быть равна скорости потока в воздуховоде. При этом скорость движения запыленного воздуха внутри трубки должна быть около 20 м/с.

Количество просасываемого воздуха, необходимое для соблюдения изокINETичности,

$$L = 0,78 \cdot 10^{-3} v d^2,$$

где $0,78 \cdot 10^{-3}$ — постоянный коэффициент; v — скорость воздуха в воздуховоде, м/с; d — диаметр входного отверстия пылеотборной трубки, м.

Пробы запыленного воздуха следует отбирать преимущественно на вертикальных участках воздухопроводов. Если их нет, то допускается отбор и на горизонтальных участках. Для этого целесообразно использовать отверстия, предназначенные для аэродинамических замеров. Для фильтров АФА в этом случае можно рекомендовать патрон конструкции НИИрудвентиляции [23]. Отличительной особенностью патрона является то, что оба конуса его соединены двумя накидными болтами. Он герметизируется резиновой прокладкой, устанавливаемой в кольцевой канавке. Для предотвращения деформации фильтра при просасывании воздуха предусмотрена металлическая сетка.

В случае повышенной влажности воздуха, когда на трубе из-за конденсации влаги возможно осаждение пыли, пробы следует отбирать либо методом внутренней фильтрации, либо обогреваемыми электрическим током напряжением 12 и 14 В пылеотборными трубками. Для этого трубку покрывают изоляционным материалом, затем наматывают на нее медную проволоку сечением 1 мм² и длиной от 1 до 2,5 м при длине трубки от 0,5 до 2 м.

Отбор проб запыленного воздуха из воздуховода, находящегося под большим разрежением, представляет значительную трудность, так как

обычные аспираторы не могут обеспечить разрежение выше имеющегося в воздуховоде. В этом случае применяют спаренные бытовые пылесосы или вакуум-насосы.

Определение дисперсности пыли. Для качественной характеристики пыли определяют ее дисперсность, а при необходимости — и количество пылинок в 1 см^3 .

Наибольшее распространение при определении дисперсного состава пыли получили ситовый анализ, воздушная сепарация, жидкостная седиментация, микроскопический анализ.

Ситовый анализ основан на просеивании пыли через сита с отверстиями различных размеров. Он применяется для частиц с размерами более 44—53 мкм, а также для отделения крупных фракций при определении дисперсного состава пыли, отобранной из аспирационных воздухопроводов.

Метод воздушной сепарации основан на том, что частицы различного размера имеют различную скорость витания и, следовательно, уносятся воздушным потоком из вертикальной трубы при различных скоростях его. Недостатками данного метода являются большая требуемая навеска пыли (2—20 г) и продолжительность проведения анализа (для отвеивания частиц меньше 5 мкм — до 20 ч).

Широкое распространение в СССР и за рубежом получил седиментационный метод, основанный на кинетике осаждения частиц в жидкости. Используют для этого седиментационные весы Фигуровского, пипеточные приборы и т. п.

Результаты, получаемые при пользовании пипеточными приборами, наиболее достоверно отражают дисперсный состав пыли [12]. Этот метод принят в качестве основного в единой методике сравнительных испытаний пылеуловителей. Пробы пыли для

дисперсного анализа из воздуховода рекомендуется отбирать специальной пылезаборной трубкой с наперстковым фильтром из хлориновой ткани, обладающей высокими пылезадерживающими свойствами ($\eta=99,93\%$). Условие изокINETичности при отборе соблюдается подбором наконечника соответствующего диаметра. Воздух просасывается бытовым пылесосом или вакуумным насосом в количестве 50—70 л/мин. Полученная навеска пыли просеивается на ситах для отделения частиц крупнее 63 мкм. Для определения массового распределения частиц менее 63 мкм пыль помещают в пипеточный прибор, наполненный седиментационной жидкостью. Минимальная навеска пыли для анализа пипеточным прибором составляет 300 мг. Применяемый во ВНИИБТГ прибор состоит из цилиндра, заканчивающегося сливной трубкой, укрепленной на штативе. Суспензия сливается через пробочный краник в мерную колбочку и затем в бюксу, которая помещается в сушильный шкаф для выпаривания воды. Вверху прибор закрывается пробкой с отверстием для спуска воздуха. Определяя изменение концентрации суспензии через определенные отрезки времени, получают распределение частиц по крупности в массовом выражении. Состав седиментационной жидкости следует принимать по рекомендациям ЛИОТ [12].

Если необходимую навеску пыли (0,3—0,8 г) получить трудно, дисперсный состав определяется микроскопическим способом. Порядок отбора проб в данном случае такой же, как и при весовом методе. Для определения дисперсности пыли можно использовать те же фильтры, на которые отбирались пробы для весового метода определения запыленности, если навеска пыли на них не превышает 1—2 мг.

Фильтр извлекают из кассеты и разрезают пополам. Каждую половину укладывают на предметное стекло таким образом, чтобы пылинки находились между стеклом и фильтром. На предметном стекле отмечают тушью номер пробы и дату. В вытяжном шкафу на электроплитку устанавливают стакан с водой, в который помещают стакан с ацетоном. Во время подогрева воды стакан с ацетоном должен быть закрыт. Предметные стекла с фильтрами укладывают на металлическую подставку, которую помещают в стакан с ацетоном. Под действием паров ацетона фильтр осветляется, превращаясь в прозрачную пленку. При температуре воды 70—80° С фильтры осветляются в течение 2—5 с. Полученные препараты просматривают под микроскопом и окулярной линейкой или сеткой определяют размер пылинок.

Если проявленный препарат оказался равномерно запыленным, то подсчет можно делать в 10 полях, если неравномерно, то в 20 полях и более. Пылинки суммируют по фракциям. Процент каждой фракции определяется относительно суммы всех пылинок.

При известных площади фильтра, площади окулярной сетки (линейки), количестве пылинок в одной окулярной сетке (линейке) и количестве воздуха, прошедшего через фильтр, количество пылинок в 1 см³ запыленного воздуха

$$n = aP_{\phi}/P_{o.c}V,$$

где a — среднее количество пылинок в одной окулярной сетке; P_{ϕ} — площадь фильтра, см²; $P_{o.c}$ — площадь одной окулярной сетки, см²; V — объем воздуха, просасываемого через фильтр, см³.

Для определения дисперсного состава пыли с помощью электронного микроскопа пылевые пробы

отбирают на мембранные фильтры, которые помещают запыленной стороной на предварительно очищенную поверхность дистиллированной воды, покрытой 1,5—2%-ным раствором коллодия в амилацетате. Через 10—15 мин фильтр с коллодиевой пленкой извлекают из воды и после 30—40-минутной сушки отделяют пленку от фильтра, погружив ее при этом в дистиллят. Сетку накладывают на сторону, противоположную той, где находятся частицы пыли. После 1,5—2 ч сушки при комнатной температуре препарат просматривают и фотографируют под электронным микроскопом при увеличении в 3450 раз. Достаточная степень точности (5%) достигается при 2—4 снимках по 3—4 препаратам с каждого фильтра.

3. ИСПЫТАНИЕ И НАЛАДКА ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Перед испытанием пылеулавливающего устройства необходимо проверить соответствие проекту основных параметров и обеспечить его работу в оптимальных режимах. Во время испытаний все пылящее технологическое оборудование должно работать с нормальной нагрузкой.

При испытании пылеуловителя замеряют статическое, скоростное и полное давление воздуха, поступающего в устройство и выходящего из него; скорость и количество воздуха, проходящего через устройство; аэродинамическое сопротивление устройства; запыленность воздуха до и после улавливания пыли; эффективность очистки воздуха от пыли.

Давление воздуха определяют так, как это указано в начале настоящей главы. По величине скоростного давления находят скорость движения воздуха, а умножением ее на площадь получают

общее количество воздуха, проходящего через установку. Количество воздуха замеряют до и после прохождения его через установку. Если разница между ними не превышает 5%, то за истинное принимают среднее арифметическое из двух замеров. Значительная разница между замерами указывает на большие потери или подсосы воздуха, которые нужно немедленно довести до значений, предусмотренных технической характеристикой устройства.

Аэродинамическое сопротивление пылеуловителя определяется по разности полных давлений, замеренных до и после установки, а при равенстве площадей в местах замеров до и после установки сопротивление можно получить по разности статических давлений в соответствующих точках. Если пылеуловитель состоит из нескольких ступеней, общее сопротивление его определяется суммой сопротивлений каждой ступени.

Запыленность воздуха определяется внутренней или внешней фильтрацией. Эффективность пылеулавливающей установки (%) $\eta = (1 - N_k/N_n) \cdot 100$, где N_k , N_n — начальная и конечная концентрация пыли (до и после пылеуловителя), мг/м³.

При испытании циклонов, скрубберов и инерционных пылеотделителей их аэродинамическое сопротивление характеризуется коэффициентом местного сопротивления, отнесенным к скорости воздуха во входном патрубке. Основным параметром, определяющим эффективность вышеуказанных пылеуловителей, является скорость входа воздуха в устройство. В скрубберах и пленочных циклонах сопла или направляющие трубочки должны быть расположены тангенциально к поверхности корпуса, а направление водяных струй должно совпадать с движением воздуха. Расход воды и давление

должны быть оптимальными, разными для различного вида пыли. Если такие данные для испытываемого пылеуловителя отсутствуют, необходимо после настройки по оптимальной производительности провести сравнительные испытания для определения оптимального расхода воды в пылеуловителе, подавая различное количество воды на орошение или на образование водяной пленки и определяя при этом изменение эффективности пылеулавливания.

При испытании мокрых пылеуловителей необходимо для предотвращения каплеуноса устанавливать на выходе из пылеуловителя (или непосредственно в нем) каплеуловитель. Чтобы отверстия форсунок не забивались взвесями, присутствующими в воде, следует ее предварительно очистить или, если представляется возможным, использовать форсунку с резиновыми диафрагмами. Залипания гидрозатворов можно избежать, увеличивая скорость движения воды в канализационной сети или уклоны желобов.

При испытании пылеуловителей, обеспыливающих паро-пылевые смеси, когда происходит интенсивная конденсация влаги, отбор проб для определения запыленности целесообразно осуществлять методом внутренней фильтрации. На участке от аллонжа до реометра образуется конденсат, который следует собирать перед реометром в банку Тищенко, представляющую собой сосуд с термометром и двумя трубками. По одной трубке газ поступает в банку, где выделяется влага, а по другой — направляется к реометру. Часть водяных паров конденсируется, их объем реометром не учитывается. Поэтому для подсчета запыленности объем газа V_0 , прошедший через реометр, необходимо привести к нормальным условиям по формуле

$$V_0 = 283d^2v(p \pm p_1)/(273 + t),$$

где V_0 — объем газа, прошедший через реометр за 1 с, дм^3 ; d — диаметр входного отверстия, м; v — скорость газа в газоходе в месте отбора, м/с; p — барометрическое давление, Па; p_1 — разрежение в месте отбора газа, Па; t — температура газа в месте отбора, $^{\circ}\text{C}$.

Объем сконденсировавшихся паров

$$V_{\pi} = V_1 N_0 / M,$$

где V_{π} — объем сконденсировавшихся паров, дм^3 ; V_1 — объем сконденсировавшейся жидкости до реометра, дм^3 ; N_0 — число Авогадро; M — молекулярная масса жидкости. Тогда общий объем влажного газа, отобранный из газохода, $V_r = V_0 + V_{\pi}$. Коэффициент изменения объема $K = V_0 / (V_0 + V_{\pi})$.

Испытание матерчатого фильтра обычно начинают с определения объема воздуха, просасываемого через фильтр. Перед испытанием необходимо выяснить, каким фильтровальным материалом оснащен фильтр, чему равна допустимая воздушная нагрузка на ткань, по величине которой определяют оптимальный режим фильтрации (производительность фильтра). Перед испытанием матерчатых фильтров проверяют исправность механизма встряхивания и обратной продувки. Перед замером производительности необходимо очищать фильтр до тех пор, пока сопротивление не перестанет снижаться.

Производительность и аэродинамическое сопротивление фильтра замеряют перед, в промежутке и после регенерации, затем определяют их среднее значение. Аналогично получают и среднюю эффективность фильтра. Кроме того, находят и пылеемкость фильтра (материала), которая необходима для того, чтобы знать, как растет сопротивление по мере накопления пыли, и определять частоту регенерации.

Для эффективной работы матерчатого фильтра необходимо равномерно распределить воздушную нагрузку по фильтрующим элементам. Патрубками равномерного всасывания выравнивают статическое давление по длине фильтра. Для определения аэродинамического сопротивления материала устанавливают приемники статического давления на стенках корпуса запыленного и очищенного воздуха. На равномерность распределения воздушной нагрузки в рукаве значительное влияние оказывает форма присоединительных патрубков фильтра. Статическое давление воздуха в рукавах рекомендуется измерять аэрошупом с микроманометром. Щупы вставляют внутрь рукава фильтра. На определенном расстоянии от начала рукава (обычно 200—300 мм) измеряют давление. Если разность между статическими давлениями в двух самых крайних точках рукава не превышает 50—70 Па, то можно считать, что воздушная нагрузка на поверхность рукавов распределена равномерно, в противном случае необходимо так изменить форму и размеры соединительных патрубков фильтра, чтобы она стала равномерной.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ГАЗОПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

Ремонт и обслуживание газопылеулавливающего оборудования на горнообогатительных комбинатах системы МЧМ СССР организуется непосредственно на предприятиях в соответствии с «Правилами технической эксплуатации и безопасного обслуживания газопылеулавливающих установок» [29] и «Положением по эксплуатации, надзору и ремонту систем вентиляции на предприятиях МЧМ СССР»

[28]. В соответствии с правилами [29] администрация предприятия должна обеспечить содержание и эксплуатацию газопылеулавливающих установок в исправном состоянии, своевременно обследовать и ремонтировать их, а также обеспечивать их правильное обслуживание. Для этого на каждом предприятии назначаются лица, ответственные за эксплуатацию пылегазоулавливающих установок, и укомплектовывается необходимый штат обслуживающего персонала. Специальная комиссия не реже одного раза в два года проверяет знания обслуживающего персонала, который в своей работе руководствуется утвержденными производственными инструкциями по эксплуатации газопылеулавливающего оборудования, разработанными на основании типовых инструкций заводов-изготовителей или проектных организаций с учетом специфических условий данного производства.

Особое внимание при обслуживании газопылеулавливающих установок уделяется предотвращению аварийного режима работы установок. Аварийным режимом работы установок считается эксплуатация их в неисправном состоянии или с нарушением технологического режима работы, указанного в производственной инструкции.

Для газопылеулавливающих установок всех видов режим будет аварийным в том случае, если аппараты работают с отклонениями параметров очищаемого газа по объему, температуре, давлению, запыленности, химическому составу, влажности, физико-химическому и дисперсному составу пыли свыше пределов, установленных производственной инструкцией; не работает или не обеспечивает выгрузку уловленного продукта пылеразгрузочное устройство аппарата при работе установки в режиме, определенном инструкцией; подсосы воздуха

в аппарат не соответствуют величине, установленной инструкцией; аппарат работает при нарушении режима встряхивания, смыва или обдувки рабочих элементов (электродов, решеток, рукавов, стенок и т. д.).

Для установок с электрической очисткой газов аварийным считается режим, если электрофильтр работает без подачи напряжения, а также если напряжение подается не на все электроды или величина напряжения не соответствует паспортной; если из-за перекоса рам коронирующих электродов вследствие деформации зазор между осями коронирующих и осадительных электродов стал меньше указанного в производственной инструкции.

Для рукавных фильтров аварийный режим возникает тогда, когда оборван рукав или суммарная площадь отверстий в рукавах равна или превышает площадь, эквивалентную площади одного рукава; ткань рукавов потеряла фильтрующие свойства; температура газов, поступающих на очистку, повышена и составляет: для рукавов из стеклоткани с силикографитовой пропиткой — более 250°C ; из стеклоткани с силиконовой пропиткой — более 240°C ; из лавсана — более 140°C ; из нитрона — более 130°C ; из байки ЧШ — более 100°C .

Для установок химической и мокрой очистки аварийным считается режим, если на установку не подается в достаточном количестве вода или раствор, а также не обеспечивается их равномерное распределение; содержание твердых взвесей в воде (растворе) превышает установленную норму; происходит забивание (загрязнение) фильтрующего слоя, катализатора, абсорбента или адсорбента; нарушается процесс промывки, регенерации активного слоя; концентрация растворов не соответствует установленной норме.

Во всех случаях аварийного режима работы установок лицом, ответственным за эксплуатацию газопылеулавливающих установок, составляется акт об обнаруженных нарушениях режима с определением мероприятий по их ликвидации. Акт утверждается руководителем предприятия. Эксплуатация технологического оборудования при неисправном или работающем в аварийном режиме газопылеулавливающем оборудовании, установленном за ним, запрещается и может быть временно разрешена в исключительных случаях только руководством министерства по согласованию с Инспекцией технадзора за эксплуатацией газоочистительного оборудования. Обслуживающий персонал в своей работе руководствуется показаниями контрольно-измерительных приборов, а также использует средства автоматики, предусмотренные проектом.

Вводимые в эксплуатацию после окончания строительства или реконструкции пылегазоочистные установки должны приниматься специальной комиссией, состав которой утверждается руководством предприятия. При приемке в эксплуатацию особое внимание уделяется соответствию монтажа проекту, качеству монтажных, теплоизоляционных работ, защитных и антикоррозионных покрытий, наличию контрольно-измерительных приборов и средств автоматики, необходимых для обеспечения нормальной и высокоэффективной работы установки, технической документации на скрытые работы, а также протоколам испытания узлов оборудования.

Установки санитарной очистки газов и аспирационного воздуха подлежат регистрации в инспекций технического надзора. Газопылеулавливающие установки регистрируются при наличии паспорта

газопылеулавливающей установки, акта приемки установки в эксплуатацию, удостоверения о качестве монтажа.

Периодичность проведения капитальных и средних ремонтов определяется администрацией предприятия. Объемы смет и графики ремонтов включаются отдельным разделом в годовые планы ремонта оборудования цехов предприятия и утверждаются главным инженером предприятия. Документация на проведение ремонтов должна быть также рассмотрена и утверждена администрацией предприятия. Если в период ремонта установка модернизируется, то документация на эти работы в обязательном порядке согласуется с проектной организацией.

При обслуживании и ремонтах газопылеулавливающих установок должна использоваться следующая документация: приемо-сдаточный акт, который составляется при приемке вновь смонтированной или реконструированной установки в эксплуатацию; паспорт вентиляционной или газопылеулавливающей установки, который должен содержать подробную техническую характеристику, результаты испытаний, техническую документацию и т. д.; акт сдачи установки в ремонт, составляемый на все виды ремонтов; акт аварии, который составляется при авариях и поломках; журнал состояния установки; журнал ремонтов и осмотров. Форма документов и их содержание определяются действующими инструкциями и правилами.

1. Агрегат для очистки рудничного воздуха после взрывных работ при проведении выработок. — «Горный журнал», 1971, № 4. Авт.: А. П. Янов, Г. А. Жовтуха, В. И. Стуканов и др.

2. Амелин А. Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. М., «Химия», 1966. 294 с. с ил.

3. Аэродинамическая характеристика гравийно-пенных гидрофильтров. — «Известия вузов. Горный журнал», 1973, № 5. Авт.: С. К. Савенко, Н. М. Сердюк, Г. А. Жовтуха и др.

4. Волощук В. М. Введение в гидродинамику грубодисперсных аэрозолей. М., Гидрометеиздат, 1971. 208 с. с ил.

5. Горедин Н. П., Истратов А. Г., Леберович В. Б. К кинетике деформации и дробления жидкой капли в потоке. — МЖГ, 1968, № 1.

6. Гравийные гидрофильтры. — «Горный журнал», 1973, № 5. Авт.: С. К. Савенко, Н. М. Сердюк, Г. А. Жовтуха и др.

7. Гуревич М. И. Теория струй идеальной жидкости. М., Физматгиз, 1961. 496 с. с ил.

8. Едигарев Е. В., Широких В. Д. Мокрые пылеуловители с пылеочистным каналом. — «Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС», 1963, вып. 5 (25).

9. Едигарев Е. В. Исследование по разработке мокрого пылеуловителя с воздухоочистным каналом (модель ПМФК-4,5). — «Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС», 1964, вып. 4 (36).

10. Жовтуха Г. А., Янов А. П., Власенко Г. Я. Роль электрического ветра в процессах транспортировки тонкодисперсной пыли в электрофильтрах. — В кн.: Изучение физико-химических свойств пыли в возможности их использования в целях пылеулавливания, М., 1970.

11. Исследование осаждения пылевых частиц на водную поверхность под действием стационарного электрического поля. — «Охрана труда и техника безопасности в горно-рудной промышленности», 1975, вып. 1. Авт.: В. И. Стуканов, В. Н. Иванов, М. Ф. Шпилька и др.

12. Коузов П. А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей. Л., «Химия», 1974. 80 с. с ил.
13. Кузнецов Б. А. Исследование мокрых пылеуловителей с внутренней циркуляцией воздуха. — «Водоснабжение и санитарная техника». 1971, № 1.
14. Кузенков Б. А. Теоретические исследования течения аэрозолей в струйном пылеуловителе типа ПВМ. — В кн.: Вопросы очистки воздуха в промышленных зданиях. М., 1974.
15. Кучерук В. В. Очистка вентиляционного воздуха от пыли. М., Машгиз, 1963. 141 с. с ил.
16. Левин Л. М. Исследование по физике грубодисперсных аэрозолей. М., Изд-во АН СССР, 1961. 267 с. с ил.
17. Мамкин П. П. Опыт применения трубы коагулятора (скруббера Вентури) для очистки аспирационного воздуха от агломерационной пыли. — В кн.: Обеспыливание в металлургии. М., 1971.
18. Методы расчета электростатических полей. М., «Высшая школа», 1973. 414 с. с ил. Авт.: Н. Н. Миролюбов, М. В. Костенко, М. Л. Левинштейн и др.
19. Михайлов В. А., Бересневич П. В. Снижение запыленности и загрязненности воздуха на открытых горных работах. Киев, «Техніка», 1975. 114 с. с ил.
20. Михайлов В. А., Бересневич П. В. Борьба с пылью при выемочно-погрузочных работах на рудных карьерах. М., «Недра», 1976. 162 с. с ил.
21. Морозов Ю. Г., Руденко А. Ф. Электрофильтр. Авт. свидет. СССР, № 424604. — «Бюл. изобрет.», 1975, № 15.
22. Недин В. В., Нейков О. Д. Борьба с пылью на рудниках. М., «Недра», 1965. 200 с. с ил.
23. Недин В. В., Нейков О. Д. Современные методы исследования пыли. М., «Недра», 1967. 170 с. с ил.
24. Обеспыливание воздуха на фабриках горнообогатительных комбинатов. М., «Недра», 1972. 184 с. с ил. Авт.: И. И. Афанасьев, В. С. Ващенко, Г. С. Генералов и др.
25. Основы гидрогазодинамики дисперсных систем. М., «Энергия», 1974. 480 с. с ил. Авт.: И. П. Верещагин, В. И. Левитов, Г. З. Мирзабекян и др.
26. Панов В. А., Заудальский И. И. Способ рекультивации хвостохранилищ. Авт. свидет. СССР, № 380263. — «Бюл. изобрет.», 1973, № 21.
27. Пирумов А. И. Обеспыливание воздуха. М., Стройиздат, 1947. 207 с. с ил.
28. Положение по эксплуатации, надзору и ремонту

систем вентиляции на предприятиях Минчермета СССР. М., Минчермет СССР, 1973.

29. Правила технической эксплуатации и безопасного обслуживания газопылеулавливающих установок. М., Союзглавгазочистка, 1972. 62 с.

30. Расчет угольных коагуляторов. — «Охрана труда и техника безопасности в горнорудной промышленности». 1975, вып. 1. Авт.: А. П. Янов, Г. А. Жовтуха, А. А. Малевич и др.

31. Рихтер Э. В. Эжекционный скруббер для улавливания мелкодисперсной пыли. — «Водоснабжение и санитарная техника», 1968, № 5.

32. Руденко К. Г., Калмыков А. В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. М., «Недра», 1971. 351 с. с ил.

33. Русанов А. А., Урбах И. И., Анастасиадис А. П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. М., «Энергия», 1969. 456 с. с ил.

34. Скоростной однозонный электрофильтр. — «Вентиляция и очистка воздуха», 1969, № 2. Авт.: А. В. Шелекетин, Г. А. Жовтуха, Л. К. Саплинов и др.

35. Стуканов В. И., Иванов В. Н. Рудничный электрофильтр. Авт. свидет. СССР, № 362930. — «Бюл. изобрет.», 1973, № 3.

36. Стуканов В. И., Иванов В. Н., Козорез В. В. Электрофильтр. Авт. свидет. СССР, № 453171. — «Бюл. изобрет.», 1974, № 4.

37. Стуканов В. И., Логачев Н. Н., Иванов В. Н. Электрофильтр. Авт. свидет. № 468639. — «Бюл. изобрет.», 1975, № 3.

38. Ужов А. П. Очистка промышленных газов электрофильтрами. М., «Химия», 1967. 344 с. с ил.

39. Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю. Очистка газов мокрыми фильтрами. М., «Химия», 1972. 247 с. с ил.

40. Фукс Н. А. Механика аэрозолей. М., Изд-во АН СССР, 1955. 351 с. с ил.

41. Шелекетин А. В., Жовтуха Г. А. Электрофильтр для очистки воздуха, подаваемого в шахту. — «Вентиляция и очистка воздуха», 1969, № 2.

42. Электрофильтр. Авт. свидет. СССР, № 337530. — «Бюл. изобрет.», 1972, № 15. Авт.: А. П. Янов, Г. А. Жовтуха, В. И. Стуканов и др.

43. Янов А. П., Жовтуха Г. А., Малевич А. А. Устройство для очистки воздуха. Авт. свидет. СССР, № 301448. — «Бюл. изобрет.», 1971, № 14.

44. Янов А. П., Жовтуха Г. А. Методы расчета равномерного распределения воздуха в конечных решетках пластин при косом набегающем потоке. — «Вентиляция и очистка воздуха», 1970, № 4.

45. American Air Filter Co., inc., Roto-Clone type N, hydro-static precipitator, Bull. DC — 277b.

46. Hirsch L., Poto-Clone N-Tipnsu hedres porbevalasztó nepessege, Munkavedelem, 1962, № 1—3.

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Глава I. Особенности пылеобразования на горнорудных предприятиях, основные способы и средства борьбы с пылью	5
1. Подземные горные работы	5
2. Надшахтные комплексы	12
3. Открытые горные работы	15
4. Обогащение и агломерация руды	21
Глава II. Механические фильтры для очистки воздуха от пыли	29
1. Инерционный захват пыли водяными завесами	30
2. Ударно-компенсационные фильтры	34
3. Гравийные фильтры	40
4. Скрубберы, циклоны, трубы Вентури	47
5. Угольковые коагуляторы	54
6. Ударно-инерционные пылеуловители с плавающим фильтрующим слоем	61
7. Тканевые фильтры	84
Глава III. Электрические фильтры для очистки воздуха от пыли	94
1. Рудничный электрофильтр	94
2. Электрофильтр с посадкой пыли на водную по- верхность	106
3. Сухие электрофильтры с форсированным режимом очистки	116
	149

Глава IV. Контроль запыленности воздуха и работы пылеуловителей	124
1. Измерение метеорологических параметров воздуха	124
2. Определение запыленности воздуха и дисперсного состава пыли	128
3. Испытание и наладка пылеуловителей	136
4. Организация обслуживания и ремонта газопылеулавливающего оборудования	140
Список литературы	145

*Григорий Андреевич Жовтуха, канд. техн. наук,
Валерий Иванович Стуканов, канд. техн. наук,
Александр Павлович Янов, д-р техн. наук,
Николай Макарович Сердюк, канд. техн. наук*

**Очистка воздуха от пыли
на горнорудных предприятиях**

Редактор издательства *Л. А. Казанцева*
Обложка художника *В. А. Потиевского*
Художественные редакторы *Н. Ф. Соловьева,
Е. А. Ильницкий*
Технический редактор *С. В. Иванус*
Корректор *Г. А. Высоцкая*

ИБ № 238

Сдано в набор 7. I. 1977 г. Подписано в печать 29. IV 1977 г. Формат 70×100¹/₃₂. Бумага типогр. № 2. Усл. печ. л. 6,13. Уч.-изд. л. 6,0. Тираж 3000 экз. БФ 04922. Зак. 7—257. Цена 37 коп.

Издательство «Техника», 252610, Киев, 1, ГСП, Пушкинская, 28.
Киевская фабрика печатной рекламы, Киев, Выборгская, 84.

**Сообщаем адреса магазинов, которые вы-
сылают научно-техническую литературу на-
ложенным платежом:**

- 348016 Ворошиловград, пл. Героев Великой Оте-
чественной войны, 5, № 70
320030 Днепропетровск, просп. Карла Маркса, 55,
№ 1
340055 Донецк, ул. Артема, 84, № 50
340066 Донецк, ул. Артема, 79, № 4
330063 Запорожье, просп. Ленина, 48, № 21
284000 Ивано-Франковск, ул. Чапаева, 15, № 18
252030 Киев, ул. Ленина, 39, № 1
252105 Киев, ул. Строителей, № 4, № 59
252117 Киев, ул. Попудренко, 30, магазин «Книга—
почтой»
316050 Кировоград, ул. Ленина, 30/36, № 9
270026 Одесса, ул. Дерибасовская, 27, «Дом книги»
349940 Северодонецк, ул. Парижской Коммуны, 4,
№ 88
244011 Сумы, просп. К. Маркса, № 2, № 3
310012 Харьков, ул. Свердлова, 17, № 1
325025 Херсон, ул. Суворова, 19, № 1
280000 Хмельницкий, ул. Фрунзе, 50, № 12
257000 Черкасы, ул. Урицкого, 188, № 11
250000 Чернигов, ул. Ленина, 21, № 1

37 коп.

63367

5-77

115

