

ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ОХОРОНА ПРАЦІ

УДК 622.807.54

Я.Я. Лебедев, канд. техн. наук, доц.,
И.О. Лутс

Государственное высшее учебное заведение „Националь-
ный горный университет“ г.Днепропетровск, Украина,
e-mail: lebedev.1943@gmail.com

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ТРУДА ГОРНОРАБОЧИХ ПО ПЫЛЕВОМУ ФАКТОРУ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ МАРГАНЦЕВЫХ ШАХТ

Ya.Ya. Lebedev, Cand. Sci. (Tech.),
I.O. Luts

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: lebedev.1943@gmail.com

STUDY OF MINERS WORKING CONDITIONS ON DUST FACTOR IN MINE TUNNELS AT MANGANESE DRESSING PLANTS

Цель. Исследование условий труда горнорабочих, изучение аэродинамической обстановки в марганцевых шахтах, определение основных очагов пылеобразования при транспортировании и добыче марганцевой руды. Сравнение интенсивности пылевыведения в очистном забое при отработке различных видов руд.

Методика. Для практического определения интенсивности пылевыведения в непроветриваемой выработке использовалась следующая методика. Перед экспериментом в течение часа производилось интенсивное проветривание очистной заходки, запыленность воздуха снижалась до фонового значения $0,4\text{мг/м}^3$, а затем выключался вентилятор местного проветривания. На почве выработки в зоне работы комбайна, через каждые $0,75\text{м}$ по длине, располагали 20 заборных площадок с предварительно взвешенными фильтрами, на которые осаждалась пыль в течение всей рабочей смены.

Результаты. Полученные результаты исследований позволяют прогнозировать интенсивность пылевыведения вновь создаваемых комбайнов для очистной выемки марганцевой руды, а также рассчитывать ожидаемый уровень запыленности на рабочем месте машиниста комбайна с целью разработки мероприятий по улучшению санитарно-гигиенических условий труда горнорабочих очистного и подготовительного забоев марганцевых шахт. В результате исследований было также установлено, что на интенсивность выведения пыли в условиях марганцевых шахт оказывают влияние физико-механические свойства марганцевой руды.

Научная новизна. Заключается в том, что была изучена интенсивность осаждения пыли при использовании лопастного и шнекового типов отбойных органов комбайна во время отработки различных видов марганцевых руд. Получена зависимость интенсивности пылевыведения от производительности комбайна.

Практическая значимость. Разработана методика, позволяющая определить интенсивность пылевыведения в непроветриваемой выработке в зависимости от использования типа рабочего органа комбайна и вида отработываемой руды. Проведено исследование условий труда горнорабочих по пылевому фактору в горных выработках марганцевых шахт. Результаты исследования позволяют в дальнейшем разработать способы и средства борьбы с пылеобразованием в очистных забоях марганцевых шахт.

Ключевые слова: *воздухообмен, комбайн, пылевыведение, атмосфера, очистной забой, руда*

Постановка проблемы. Марганцевая руда в Никопольском бассейне представляет собой влажную рыхлую массу черного или буровато-серого цвета, состоящую из смеси песка, глины, землистых окислов марганца и твердых конкреций марганцевых минералов разнообразных размеров и форм. Встречаются ближе к почве пласта твердые пропластки („присуха“), которые, в большинстве случаев, представляют цементирован-

ную кальцитом песчано-глинистую массу, включающую рудные минералы. Наличие в марганцевых рудах значительного количества глинистых соединений способствует интенсивному налипанию материала на поверхность технологического оборудования.

Содержание в рудном пласте липкого глинистого материала составляет 25–55%. Глины наиболее характерны для зоны карбонатных руд.

Глинистая масса во влажном состоянии мягкая, легко скатывается в жгут, слегка жирная на ощупь,

имеет шелковистый блеск, при высыхании твердеет и становится более светлой.

Естественная весовая влажность рудного пласта составляет по данным НИГРИ от 18,4 до 45,3%. Средняя естественная влажность марганцевой руды, поступающей на обогатительную фабрику, 24÷25%. Эта влажность и определяет во многом липкость и вязкость руды.

Считается, что силы прилипания являются результатом молекулярного взаимодействия, которое характеризуется Ван-дер-ваальсовскими силами, проявляющимися между молекулами на расстоянии от одного до нескольких сот их диаметров и зависящими от зазора между контактирующими телами.

В развитии сил прилипания глинистых грунтов, являющихся мелкодисперсными системами, основная роль принадлежит капиллярным силам, результирующее действие которых вызвано силами поверхностного натяжения менисков воды. Если зазор мал, то силы молекулярного взаимодействия суммируются с капиллярными и прилипание возрастает.

Силовое взаимодействие между контактирующими поверхностями тел приводит к появлению сил адгезии, характеризующих липкость частиц, которая играет значительную роль в пылеобразовании при работе технологического оборудования, к которому, в первую очередь, относятся комбайны и ленточные конвейеры. Все типы комбайнов, работающие в никопольских марганцевых шахтах, включают в себя приемный и разгрузочный ленточные конвейеры.

Дальнейший рост добычи марганцевой руды осуществляется как за счет введения в эксплуатацию новых мощностей, так и за счет интенсификации ведения горных работ, изыскания резервов повышения производительности и безопасности труда. При этом характер пылеобразования и его источники при работе забойного оборудования марганцевых шахт в последние годы претерпели значительные изменения. Ранее отбойка производилась комбайнами с лопастным отбойно-погрузочным органом с крупным сколом. При этом витающая пыль содержит меньше окислов марганца, чем в рудном массиве, т.к. окислы марганца имеют более высокий удельный вес и его частицы быстрее выпадают в непосредственной близости от источника пылевыведения. В настоящее время, при отбойке шнековым рабочим органом, руда измельчается в гораздо большей степени и тонкодисперсных частиц, витающих в воздухе, образуется значительно больше. Кроме того, в связи с увеличением производительности комбайнов, интенсивность пылеобразования значительно возросла (в 2–3 раза), а, следовательно, возросло и содержание марганца в витающей пыли. Известно также, что на запыленность воздуха в тупиковой выработке существенное влияние оказывают параметры свободной струи воздуха, выходящей из трубопровода при проветривании забоя.

Гигиеническими показателями загрязненности рудничной атмосферы пылью являются: физико-химические свойства пыли, масса пыли в единице

объема воздуха (массовая концентрация, мг/м³) и ее дисперсный состав.

Анализ последних исследований. Анализ литературных источников [1, 2] свидетельствует о том, что пыль на марганцевых шахтах обладает токсическими и фиброгенными свойствами и может вызвать у рабочих отравление марганцем, приводящим к различным неврозам, а иногда и к болезни Паркинсона. Встречаются также заболевания рабочих забойной группы пылевым бронхитом, что свидетельствует об агрессивности марганцевой пыли.

Исследованиями, проведенными ранее [3], были установлены средние значения местных концентраций марганцевой пыли у различных узлов комбайнов типа МБЛ и МБЛД. Согласно этим исследованиям, при работе указанных типов комбайнов, в различных их узлах, пылеобразование составляет: на отбойном органе до 14,7мг/м³; на погрузочном конвейере до 48,0мг/м³; на разгрузочном конвейере около 72,5мг/м³; на узле перегрузки марганцевой руды с комбайна на забойный конвейер около 15,0мг/м³; на поворотной платформе 15,2мг/м³.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Позднее вместо комбайна МБЛ стал применяться комбайн КМШ, в котором была изменена конструкция отбойного органа. Вместо барабана с убирающимися лопастями применен отбойно-погрузочный шнек, армированный зубьями. В результате этого возросла интенсивность пылеобразования, которая достигла следующих значений: у отбойного органа до 75мг/м³, у барабана погрузочного конвейера – 70,0мг/м³; у места разгрузки марганцевой руды с комбайна на забойный конвейер – 30,5мг/м³; у поворотной платформы – 31,0мг/м³. Основными источниками пылеобразования в настоящее время являются отбойно-погрузочные комбайны типа КДР5 и КДР-6 конструкции НИПИрудмаш. Отбойка и транспортировка руды сопровождается значительным пылеобразованием с выделением пыли в призабойную зону и ее дальнейшим распространением по выемочному штреку. Исследованиями в промышленных условиях установлено, что в горных комбайнах для добычи руд в условиях Марганецкого ГОКа и сходных ему условиях основными источниками пылеобразования являются места истирания подсохшей горной массы движущимися элементами конвейеров [3]. На запыленность в зоне дыхания машиниста комбайна решающее влияние оказывает пылеобразование при работе ленточного конвейера стрелы, а при разработке смешанных и карбонатных руд повышенной крепости – пылеобразование в зоне отбойки и погрузки горной массы шнековым рабочим органом.

Изложение основного материала. Замеры запыленности воздуха производились весовым способом с применением фильтров АФА-В-10 по общепринятой методике в соответствии с ГОСТ 12.1.016-79. Для протягивания исследуемого воздуха через фильтр применялся воздушный эжектор. Продолжительность и место отбора проб, объем проасосываемого через

патрон воздуха устанавливались в зависимости от назначения отбора пробы.

Запыленность воздуха определялась по формуле

$$n = \frac{(m_2 - m_1) \cdot 1000}{Qt},$$

где n – запыленность воздуха, мг/м³; m_1 – масса чистого фильтра, мг; m_2 – масса запыленного фильтра, мг; Q – расход воздуха при просасывании, л/мин; t – время просасывания, мин.

Необходимое количество проб устанавливается исходя из величины допустимой ошибки и требуемой надежности результатов наблюдений, принятой в математической статистике зависимости

$$N_n = \delta^2 \frac{w^2}{p^2},$$

где N_n – необходимое число проб; δ – нормированное отклонение (используется как коэффициент гарантии надежности, определяющий значение доверительной вероятности); w – коэффициент вариации, характеризующий изменчивость результатов подсчета по различным пробам; p – допуская величина ошибки.

При величине допустимой ошибки 15%, коэффициенте вариации 20%, нормированном отклонении 1,65 (с доверительной вероятностью 90%) необходимое количество проб составит

$$N_n = 1,65^2 \frac{20^2}{15^2} = 4,84 \approx 5.$$

Измерение количества воздуха, поступающего в горную выработку, определялось с помощью крыльчатого анемометра АСО-3 методом „в сечении“.

Небольшие расходы воздуха, при которых скорость в выработке находилась ниже чувствительности крыльчатого анемометра, определяли с помощью пневмометрической трубки и микроанометра ММН-1М путем измерения поля скоростей в трубопроводе. Для измерения высоких скоростей воздуха использовался чашечный анемометр типа МС-13.

При исследовании интенсивности пылевыведения комбайна измерения производились в два приема при отдельной стабилизации одного из параметров: количества воздуха Q , подаваемого в забой, или расстояния от конца трубопровода до груди забоя l . Концентрация пыли измерялась на расстоянии 10–15м от груди забоя в зоне установившегося движения воздуха. Отбор проб производился при этом одновременно на четыре фильтра АФА, установленные, соответственно, в центрах четырех равных площадок, на которые условно разделялось сечение выработки. Это позволило в значительной степени устранить влияние неоднозначности концентрации пыли по сечению выработки на результаты измерения интенсивности пылевыведения.

Для практического определения интенсивности пылевыведения в непрветриваемой выработке использо-

валась следующая методика. Перед экспериментом в течение часа производилось интенсивное проветривание очистной заходки, запыленность воздуха снижалась до фонового значения 0,4мг/м³, а затем выключался вентилятор местного проветривания. На почве выработки в зоне работы комбайна через каждые 0,75м по длине располагали 20 заборных площадок с предварительно взвешенными фильтрами, на которые осаждалась пыль в течение всей рабочей смены.

Эксперимент проводился таким образом, чтобы после окончания рабочей смены был выходной день, то есть пыль могла бы осаждаться еще в течение суток при неработающих комбайнах и конвейерах. По истечении этого времени производилось взвешивание осевшей пыли и определение интенсивности пылевыведения комбайна. При этом допускалось, что оседание частиц происходит под действием гравитационных сил, то есть только на почву выработки.

Площадь выработки S_v определялась из условия, что длина зоны работы комбайна составляет 7м (5м составляет длина комбайна и 2м длина максимально маневра при зачистке почвы).

Обработка полученных значений пылевых замеров производилась с помощью общеизвестных методов математической статистики. При этом находилась ширина интервала при группировке некоторого числа измерений, а ряд значений запыленности аппроксимировался логарифмическим нормальным законом распределения. Среднюю величину запыленности определяли как математическое ожидание ее случайной величины

Проведенные исследования свидетельствуют о том, что на уровень запыленности в призабойном пространстве тупиковой выработки, при отбойке руды комбайном, существенное влияние оказывает режим проветривания.

Вентиляционные режимы горных выработок определяются требованиями, которые устанавливают ту или иную величину скорости воздушного потока в той или иной выработке, в зависимости от происходящих в них процессов. Например, для обеспечения предельно допустимой концентрации (ПДК) пыли в зоне дыхания машиниста комбайна необходимо подавать в забой количество свежего воздуха, которое соответствует интенсивности пылеобразования при отбойке руды комбайном. То есть, в этом случае, для создания нормальных санитарно-гигиенических условий необходимо поддерживать определенный вентиляционный режим в призабойном пространстве. Такой вентиляционный режим называется „нормальный“.

Согласно В.В. Дьякову, величина расхода воздуха, подаваемого по горным выработкам, ограничена его скоростью подачи по ним.

В соответствии с правилами безопасности существует ограничение как по минимальной скорости движения воздушного потока, так и по максимальной. Поэтому в горных выработках могут быть как „минимальный“ вентиляционный режим, так и „максимальный“, обеспечивающие основные параметры микроклимата и вынос вредных примесей. Кроме то-

го, существует величина скорости движения воздушного потока, при которой запыленность воздуха минимальна. Величина этой скорости зависит от многих факторов (вещественного состава пыли и ее дисперсности, применяемого оборудования, сквозная или тупиковая выработка и др.) и связана с процессами пылединамики. Вентиляционный режим при такой скорости воздуха называется „оптимальный“. Этот вентиляционный режим учитывает существующую зависимость между скоростью движения воздуха в выработке и запыленностью рудничной атмосферы. Расчет количества воздуха, обеспечивающего оптимальный вентиляционный режим, необходимо производить с учетом аэромеханических процессов по пылевому фактору. Если результаты расчета, полученные по оптимальной скорости движения воздуха из условия запыленности, не удовлетворяют гигиеническим требованиям по запыленности рудничной атмосферы, то при этом необходимо применять мероприятия, позволяющие снизить интенсивность пылеобразования или средства пылеподавления.

Иногда находят применение так называемые „нулевые“ вентиляционные режимы, при которых скорость воздушного потока равна нулю. Использование таких вентиляционных режимов связано, как правило, с аварийными ситуациями или выполнением исследований для установления закономерностей, связанных с выделением пыли в атмосферу непроветриваемых выработок.

Таким образом, в практике проветривания горных выработок находят применение всего пять вентиляционных режимов: нормальный, минимальный, максимальный, оптимальный и нулевой.

При выполнении работ, связанных с выделением пыли в атмосферу непроветриваемых выработок (при „нулевом“ режиме проветривания), интенсивность образования аэрозолей зависит от характера производственного процесса, физико-механических свойств горных пород, применяемых средств пылеподавления и оборудования. Образовавшиеся при том или ином процессе частицы взаимодействуют с воздушной средой и переходят во взвешенное состояние как показано в работах В.В. Дьякова.

Воздушная среда при любом процессе не остается абсолютно неподвижной из-за местных возмущений, обусловленных спецификой процесса. При работе комбайна подвижность воздуха обусловлена движением горнорабочих и различных узлов комбайна (при погрузке – падающим материалом; при работе электродвигателей, трении в механизмах и при движении конвейерной ленты – тепловыми потоками, возникающими за счет высоких температур и т.д.). Под воздействием воздушных потоков происходит рассеивание частиц и усреднение их концентрации в объеме выработки в месте производства работ. Одновременно с образованием аэрозолей, под воздействием внешних сил и диффузионных процессов, происходит осаждение частиц на почву, бока и кровлю выработки, в связи с чем концентрация пыли изменяется во времени. Для указанных условий, процесс изменения концентрации пыли за бес-

конечно малое время dt при ведении работ в непроветриваемой выработке ограниченного объема В.В. Дьяков описал следующим уравнением

$$\frac{dn}{dt} = \frac{F_0}{V} - \frac{n(v_n S_n + v_c S_c)}{V}, \quad (1)$$

где F_0 – интенсивность поступления пыли, мг/с; n – средняя концентрация пыли в выработке в любой момент времени t , мг/м³; v_n – скорость осаждения частиц аэрозоля на почву выработки под действием сил тяжести, м/с; v_c – скорость осаждения частиц на поверхность боков и кровли выработки за счет диффузионных процессов, м/с; S_n – площадь почвы, м²; S_c – суммарная площадь боков и кровли, м²; V – объем выработки (камеры), м³.

Уравнение (1) получено с учетом того, что интенсивность осаждения прямо пропорциональна концентрации аэрозоля.

После интегрирования уравнения (1), В.В. Дьяковым была получена формула для определения уровня запыленности в непроветриваемой выработке

$$n = \frac{F_0}{v_n S_n + v_c S_c}. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует, что в непроветриваемой выработке ограниченного объема при наличии непрерывного источника пылевыделения запыленность воздуха не возрастает до бесконечности, а стремится к постоянной величине.

В проветриваемой выработке, в отличие от „нулевого“ режима, на процесс образования аэрозоля при непрерывном выделении пыли существенное влияние оказывают динамические параметры потока. Для того чтобы получить представление о характере этого влияния, рассмотрим механизм образования аэрозолей при основных производственных процессах.

При погрузке горной массы с отбойно-погрузочного шнека на приемный ленточный конвейер комбайна и дальнейшей перегрузке руды с разгрузочного конвейера комбайна на забойный конвейер запыление атмосферы призабойного пространства тупиковой выработки происходит, в основном, за счет мелких фракций руды, образованных во время ее отбойки.

При падении горной массы на почву горной выработки во время добычи или транспортировки происходит расслаивание частиц по крупности. Крупные частицы, падающие с большим ускорением, обгоняют мелкие, скорость падения которых определяется действием закона Стокса. При этом происходит взаимодействие частиц друг с другом и с крупными кусками.

Дьяков В.В. выяснил, что при движении крупных частиц и кусков руды впереди мелких на последние действуют вихри, образующиеся за крупными частицами и кусками. В результате некоторого разрежения, возникающего за крупными частицами, мелкие частички увлекаются турбулентными вихрями и движутся вслед за крупными примерно с такой же

скоростью. Поля скоростей увлекаемого падающими кусками воздуха могут накладываться друг на друга и оказывать влияние на скорость падения и пространственное положение мелких частичек.

При определенных условиях, например различном гранулометрическом составе и физико-механических свойствах, мелкая частичка может выйти из-под влияния крупных кусков и перейти во взвешенное состояние. Однако во взвешенное состояние переходят не все частицы мелких фракций, а только их часть, составляющая 60–70%. Это обусловлено наличием гидравлического и механического взаимодействия между ними, в результате которого происходит не только увлечение мелких частиц крупными кусками, но и коагуляция и осаждение их на крупных кусках.

Количество пыли, переходящей во взвешенное состояние, зависит как от свойств отбитой руды (измельченности, влажности и т.д.), так и от влияния внешней среды. Чем больше динамический напор воздушного потока, тем больше пылевых частиц переходит во взвешенное состояние.

При выемке руды в атмосферу тупиковых выработок поступает только часть пылевых частиц, находящихся в общей горной массе. Количество их зависит от способа выемки, применяемого оборудования, типа комбайна. В некоторых случаях, даже при выемке руды одними и теми же комбайнами в одинаковых породах и при одинаковых способах пылеподавления, наблюдается различная интенсивность пылевыведения. Такое явление можно объяснить влиянием внешней среды.

При возрастании скорости воздушного потока усиливается влияние аэродинамических сил воздушного потока на вылетающие из горной массы частицы. Чем больше скорость вентиляционной струи, тем больше крупных частиц могут перейти во взвешенное состояние.

Из вышесказанного следует, что при отбойке, транспортировании, погрузке руды и других производственных процессах, относящихся к источникам непрерывного выделения пыли, интенсивность пылевыведения в проветриваемой выработке всегда больше чем в непроветриваемой.

Изменение запыленности в проветриваемой тупиковой выработке В.В. Дьяков описал дифференциальным уравнением, которое используется при вентиляционных расчетах тупиковой выработки

$$\frac{dn}{dt} = \frac{QK_t(n - n_0) - F_0(1 + \phi'v_0^2)}{V}, \quad (3)$$

решением которого является следующее выражение

$$n = n_0 + \frac{F_0(1 + \phi'v_0^2)}{QK_t},$$

где n – концентрация пыли при постоянной величине расхода воздуха, мг/м³; V – проветриваемый объем, м³; K_t – коэффициент турбулентной диффузии; Q – расход воздуха, м³/с; n_0 – запыленность воздуха, подаваемого для проветривания; F_0 – интенсивность

поступления пыли в атмосферу выработки при отсутствии проветривания, мг/с; dn – изменение концентрации пыли в забое за время dt ; ϕ' – коэффициент приращения интенсивности пылевыведения, зависящий от квадрата скорости воздушного потока v_0^2 , определяется из выражения

$$\phi' = \frac{F - F_0}{F_0v_0^2},$$

где F – интенсивность пылевыведения при работе комбайна, мг/с.

Анализ дифференциального уравнения (3) свидетельствует о том, что данное уравнение не учитывает стабилизацию запыленности воздуха на определенном уровне при малых значениях расхода воздуха (0...0,5 м³/с). Получается, что при $Q = 0$, n стремится к бесконечности, что противоречит действительности, так как по результатам замеров, а также в соответствии с выражением (2), по данным В.В. Дьякова, запыленность воздуха в шахте, даже при отсутствии проветривания, всегда имеет постоянную величину, которая зависит от производственного процесса, свойств пыли и процесса ее коагуляции.

Процесс коагуляции можно рассматривать как некоторый эквивалент подаче в забой некоторого количества воздуха. Изменение концентрации пыли под действием коагуляции пропорционально квадрату запыленности воздуха [3]. Поэтому, для учета процесса коагуляции, в уравнение (3) вводим член Dn^2 , где D – коэффициент пропорциональности между интенсивностью пылевыведения F_0 и квадратом запыленности n^2 . Тогда дифференциальное уравнение примет следующий вид

$$\frac{dn}{dt} = \frac{Dn^2 + QK_t(n - n_0) - F_0(1 + \phi'v_0^2)}{V}. \quad (4)$$

Введем обозначения

$$a = \frac{D}{V}; \quad b = \frac{K_t Q}{V}; \quad c = \frac{F_0(1 + \phi'v_0^2) + QK_t n_0}{V},$$

после чего уравнение (4) имеет вид

$$\frac{dn}{dt} + an^2 + bn - c = 0. \quad (5)$$

Обозначив корни квадратного уравнения $an^2 + bn - c = 0$ через α_1 и α_2 , уравнение (5) запишем как

$$\frac{dn}{dt} = -a(n - \alpha_1)(n - \alpha_2)$$

или

$$\frac{dn}{(n - \alpha_1)(n - \alpha_2)} = -adt. \quad (6)$$

Интегрируя уравнение (6), получим

$$\ln \frac{n - \alpha_1}{n - \alpha_2} = -a(\alpha_1 - \alpha_2)t + \ln A, \quad (7)$$

где A – постоянная интегрирования, определяемая из начального условия.

Потенцируя (7), получим

$$\frac{n - \alpha_1}{n - \alpha_2} = A \exp[-a(\alpha_1 - \alpha_2)t],$$

откуда

$$n = \frac{\alpha_1 - \alpha_2 A \exp[-a(\alpha_1 - \alpha_2)t]}{1 - A \exp[-a(\alpha_1 - \alpha_2)t]};$$

$$A = \frac{n_0 - \alpha_1}{n_0 - \alpha_2}.$$

При непрерывном проветривании тупиковой выработки $t \rightarrow \infty$, а $n \rightarrow \alpha_1$, следовательно, мг/м^3

$$n = \frac{\sqrt{K_i^2 \cdot Q^2 + 4D[F_0(1 + \varphi \cdot g_0^2) + K_i Q n_0]} - K_i Q}{2D}. \quad (8)$$

Если $Q \rightarrow 0$, то $n = \sqrt{\frac{F_0}{D}}$.

Для учета влияния ядра постоянной массы свободной струи на рабочем месте машиниста комбайна в уравнение (8) вводим дополнительный коэффициент $m_g=2$, после чего уравнение окончательно примет следующий вид

$$n = \frac{\sqrt{K_i^2 \cdot Q^2 + 4D[F_0(1 + \varphi \cdot g_0^2) + K_i Q n_0]} - K_i Q}{2Dm_g}. \quad (9)$$

Расчет средней запыленности воздуха по формуле (9) дает хорошую сходимость с экспериментальными данными в условиях марганцевых шахт.

В результате исследований было также установлено, что на интенсивность выделения пыли в условиях марганцевых шахт оказывает влияние конструкция рабочего органа комбайна и физико-механические свойства марганцевой руды

При конструировании комбайнов институтом НИПИрудмаш для добычи марганцевой руды в первую очередь производителями ставилась задача повышения их производительности, долговечности и надежности. В основном, эти задачи выполнялись.

В 70-х годах основной машиной для добычи руды был комбайн МБЛД с барабанно-лопастным исполнительным органом, в 80-х годах комбайн КМШ со шнековым исполнительным органом, а в 90-х годах он был постепенно заменен на комбайн КДР также со шнековым исполнительным органом.

Если барабанно-лопастной орган можно считать органом крупного скола, то исполнительные органы в виде шнека в значительной мере измельчают руд-

ную массу, что приводит к повышению интенсивности пылевыведения в зоне отбойки руды.

В настоящее время мелкие окисные руды практически отработаны, идет выемка смешанных и карбонатных руд, при отработке которых также происходит увеличение интенсивности пылевыведения в зависимости от мощности составляющих пласт прослоек смешанной и карбонатной руды.

Комбайны МБЛД, КМШ и КДР, несмотря на различие в конструкции отбойных органов, можно вполне считать однотипным оборудованием. Для однотипного оборудования, работающего примерно в одинаковых условиях, интенсивность пылевыведения F в основном определяется производительностью машины A_k и физико-механическими свойствами, отбиваемой от массива, горной массы. С учетом этих основных факторов, изменение интенсивности пылеобразования F можно описать следующими уравнениями

$$\frac{\partial F}{\partial A_k} = kF; \quad (10)$$

$$\frac{\partial F}{\partial M} = a_p F, \quad (11)$$

где k – коэффициент, характеризующий пылеобразующую способность в зависимости от типа машины и конструкции рабочего органа и зависящий от скорости вращения последнего, $k = 0,5 \dots 0,6$; M – суммарная мощность пропластков смешанной и карбонатной руды; a_p – коэффициент, характеризующий физико-механические свойства разрабатываемой руды в зависимости от мощности составляющих пласт прослоек смешанной и карбонатной руды, $a_p = 5 \dots 10$.

Меньшие значения коэффициентов принимаются при отработке смешанной руды, а большие при отработке карбонатной руды.

Полагая, что зависимость F от A_k и M имеет вид (по В.В. Дьякову)

$$F(\bar{A}_k, M) = F_1(\bar{A}_k) \cdot F_2(M), \quad (12)$$

получим

$$dF = \frac{dF_1}{dA_k} F_2 d\bar{A}_k + \frac{dF_2}{dM} F_1 dM.$$

Откуда

$$\frac{\partial F}{\partial A} = \frac{dF_1}{dA_k} F_2; \quad (13)$$

$$\frac{\partial F}{\partial M} = \frac{dF_2}{dM} F_1, \quad (14)$$

где F_1, F_2 – соответственно, интенсивности пылеобразования в зависимости от производительности комбайна и физико-механических свойств руды, мг/с .

Подставляя в равенства (13) и (14) равенства (10) и (11) и учитывая (12), получим два дифференциальных уравнения

$$\frac{dF_1}{dA_k} = kF_1;$$

$$\frac{dF_2}{dM} = a_p F_2.$$

Так как при начальном условии $A_k=A_n$, $a_p M=M_n$, их решения будут

$$F_1 = c_1 \exp\left(k \frac{A_k - A_n}{A_n}\right);$$

$$F_2 = c_2 \exp[a_p (M - M_n)],$$

где c_1 и c_2 – постоянные интегрирования.

Подставляя значения F_1 и F_2 в равенство (12) и принимая, что $c_1 \cdot c_2 = F_n$, получим уравнение для определения интенсивности пылевыведения комбайна в зависимости от его типа, производительности и физико-механических свойств руды, мг/с

$$F = F_n \exp\left[k \frac{A_k - A_n}{A_n} + a_p (M - M_n)\right], \quad (15)$$

где F_n – интенсивность пылеобразования комбайна при известной производительности A_n и мощности пропластков руды с различными физико-механическими свойствами.

На рисунке изображены кривые пунктирной линией, построенные по формуле (15). Характер кривых показывает, что интенсивность пылеобразования на рабочем месте машиниста комбайна изменяется в зависимости от производительности комбайна, типа разрушения массива горных пород, а также от физико-механических свойств разрушаемых горных пород.

Для проверки справедливости полученной математической модели и определения численных значений ее параметров проведены исследования в типовых горных выработках, оборудованных различными типами комбайнов.

При статистической обработке полученных результатов установлены зависимости, которые удовлетворительно аппроксимированы функцией в виде экспоненты

$$F_1 = 3,16 \cdot e^{2810^{-3} \cdot A} \text{ при } R^2 = 0,97; \quad (16)$$

$$F_2 = 2,21 \cdot e^{3110^{-3} \cdot A} \text{ при } R^2 = 0,96; \quad (17)$$

$$F_3 = 1,81 \cdot e^{3310^{-3} \cdot A} \text{ при } R^2 = 0,96; \quad (18)$$

$$F_4 = 1,03 \cdot e^{3910^{-3} \cdot A} \text{ при } R^2 = 0,94. \quad (19)$$

Графическая интерпретация полученных зависимостей представлена на рисунке сплошными линиями. Из графиков видно, что с увеличением мощности пропластков и повышением производительности комбайна интенсивность пылеобразования изменяется по полученной закономерности.

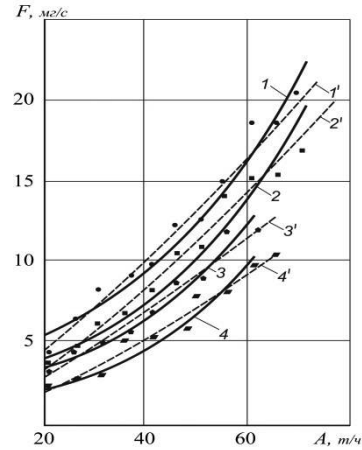


Рис. Зависимость интенсивности пылевыведения от производительности комбайна: 1, 2 – комбайн со шнековым рабочим органом; 3, 4 – комбайн с лопастным рабочим органом; 1, 3 – при отработке пласта с пропластком карбонатной руды мощностью 0,4 м; 2, 4 – при отработке пласта окисной руды; 1', 2', 3', 4' – графики, полученные на основании расчета по формуле (15)

При сравнении результатов, полученных с использованием математической модели (15), и результатов натурных исследований погрешность составляет не более 20%, что свидетельствует о достоверности полученной модели.

Выражения (16)–(19) получены для условий „нулевого“ режима проветривания, поэтому для определения уровня запыленности по выражению (9), с учетом динамических характеристик вентиляционного потока, подставляем вместо F_0 значения F из выражений (16)–(19), в результате чего получим

$$n_1 = \frac{\sqrt{K_t^2 \cdot Q^2 + 4D[3,16 \cdot \exp(28 \cdot 10^{-3} \cdot A)(1 + \varphi' \vartheta_0^2) + K_t Q n_0]} - K_t Q}{2Dm_g};$$

$$n_2 = \frac{\sqrt{K_t^2 \cdot Q^2 + 4D[2,21 \cdot \exp(31 \cdot 10^{-3} \cdot A)(1 + \varphi' \vartheta_0^2) + K_t Q n_0]} - K_t Q}{2Dm_g};$$

$$n_3 = \frac{\sqrt{K_t^2 \cdot Q^2 + 4D[1,81 \cdot \exp(33 \cdot 10^{-3} \cdot A)(1 + \varphi' \vartheta_0^2) + K_t Q n_0]} - K_t Q}{2Dm_g};$$

$$n_4 = \frac{\sqrt{K_t^2 \cdot Q^2 + 4D[1,03 \cdot \exp(39 \cdot 10^{-3} \cdot A)(1 + \varphi' \vartheta_0^2) + K_t Q n_0]} - K_t Q}{2Dm_g}.$$

Выводы. Таким образом, полученные результаты исследований позволяют прогнозировать интенсивность пылевыведения вновь создаваемых комбайнов для очистной выемки марганцевой руды, а также рассчитывать ожидаемый уровень запыленности на рабочем месте машиниста комбайна с целью разра-

ботки заходів по удосконаленню санітарно-гігієнічних умов праці горнорабочих очистного і підготовительного забоев марганцевих шахт.

Список литературы / Referenses

1. Кузьминов К.В. Оценка профессиональной вредности марганцевой пыли в условиях интенсификации горных работ / К.В. Кузьминов // Научный вестник НГУ. – 2003. – № 5. – С. 49–52.

Kuzminov, K.V. (2003), "Evaluation of occupational hazard of manganese dust provided intensification of mining", *Naykovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, Dnepropetrovsk, no. 3, pp. 49–52.

2. Чemezov Е.Н. Безопасность подземных горных работ / Чemezov Е.Н. – Якутск: Издательско-полиграфический комплекс СВФУ, 2010. – 359 с.

Chemezov, Ye.N. (2010), *Bezopasnost podzemnykh gornykh rabot* [Security Underground Mining], Izdatelsko-poligraficheskii kompleks SVFU, Yakutsk, Russia.

3. Голинько В.И. Вентиляция шахт и рудников / Голинько В.И., Лебедев Я.Я., Муха О.А. – Днепропетровск: Национальный горный университет, 2012. – 266 с.

Golinko, V.I., Lebedev, Ya.Ya. and Muha, O.A. (2012), [Ventilation in Mines and Pits], National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine.

Мета. Дослідження умов праці гірників, вивчення аеродинамічної обстановки в марганцевих шахтах, визначення основних осередків пилоутворення при транспортуванні й видобутку марганцевої руди. Порівняння інтенсивності пиловиділення в очисному вибої при відпрацюванні різних видів руд.

Методика. Для практичного визначення інтенсивності пиловиділення в непривітряній виробці використовувалася наступна методика. Перед експериментом протягом години проводилося інтенсивне провітрювання очисної заходки, запиленість повітря знижувалася до фонового значення $0,4 \text{ мг/м}^3$, а потім вимикався вентилятор місцевого провітрювання. На ґрунті виробки в зоні роботи комбайна, через кожні 0,75 м по довжині, розташовували 20 замірних майданчиків з попередньо зваженими фільтрами, на котрі осаджувався пил протягом усієї робочої зміни.

Результати. Отримані результати досліджень дозволяють прогнозувати інтенсивність пиловиділення новостворюваних комбайнів для очисної виїмки марганцевої руди, а також розраховувати очікуваний рівень запиленості на робочому місці машиніста комбайна з метою розробки заходів щодо поліпшення санітарно-гігієнічних умов праці гірників очисного та підготовчого вибоїв марганцевих шахт. У результаті досліджень було також встановлено, що на інтенсивність виділення пилу в умовах марганцевих шахт впливають фізико-механічні властивості марганцевої руди.

Наукова новизна. Полягає в тому, що була вивчена інтенсивність осадження пилу при використанні лопастного та шнекового типів відбійних орга-

нів комбайна під час відпрацювання різних видів марганцевих руд. Одержана залежність інтенсивності пиловиділення від продуктивності комбайна.

Практична значимість. Розроблена методика дозволяє визначити інтенсивність пиловиділення в непривітряній виробці в залежності від використання типу робочого органу комбайна і виду руди, що відпрацьовується. Проведене дослідження умов праці гірників за пиловим чинником у гірських виробках марганцевих шахт. Результати дослідження дозволяють у подальшому розробити способи й засоби боротьби з пилоутворенням в очисних вибоях марганцевих шахт.

Ключові слова: повітрообмін, комбайн, пиловиділення, атмосфера, очисний вибій, руда

Purpose. Study of miners working conditions, and aerodynamic situation in manganese mines; determination of the basic centers of dust formation during transportation and extraction of manganese ore. And the dust release intensity comparison in the stopes with different kinds of ores.

Methodology. For in-the-field definition of the dust release intensity in airless end the following method was used. Immediately prior to the experiment an hour long intensive ventilation of the tunnel had been held; air dust content was reduced to the background value of 0.4 mg/m^3 ; and then the booster fan was switched off. On the roadway floor in the zone of operation of the combine, 20 shut-off platforms with preliminarily tared filters were installed, one every 0.75m, and the dust fall on them during the working shift.

Findings. The results allow us to forecast the dust release intensity recreated combines for manganese ore mining, and to estimate the expected dust content in the workplace of the cutter-loader operator for the purpose of development of sanitary-and-hygienic measures of improvement of working conditions of miners in stopes of manganese mines. The studies showed that physical-mechanical properties of manganese ore affect the dust release intensity in manganese mines.

Originality. We have determined the intensity of dust settling during operation of wing and auger types of deflecting organs of a combine when mining manganese ore of different kinds. Dependence of the dust release intensity on the output of a combine was found out.

Practical value. The method allows us to determine the dust release intensity in airless end taking into account the type of work tool of the combine and the kind of ore. Study of miners working conditions on dust factor in mine tunnels at manganese dressing plants has been carried out. The results contribute to further development of means and measures of dust release control in stopes of manganese mines

Keywords: air exchange, mining combine, atmosphere, dust release, ore, mining face

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.С. Колесником. Дата надходження рукопису 18.11.13.