

ДИНАМИКА РУДНИЧНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ, ОБРАЗОВАВШИХСЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВАНИИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Приведены теоретические исследования динамики рудничных аэрозолей по длине конвейерных выработок, образовавшихся при добыче и транспортировке угля.

Приведені теоретичні дослідження динаміки рудникових аерозолів по довжині конвеєрних виробок, що утворилися при здобичі і транспортуванні вугілля.

Theoretical researches of dynamics of mine aerosols on length of the conveyer making appearing at a booty and transporting of coal are resulted.

Введение. Источниками образования аэрозолей в горных выработках угольных шахт являются процессы, связанные с добычей и транспортировкой угля. Основным источником пыли при транспортировке угля являются конвейерные установки. Известно также, что в горные выработки угольной шахты поступает 40% метана за счет газовыделений из отбитого угля транспортируемого от очистного забоя до поверхности. В связи с этим, в рудничной атмосфере горных выработок угольных шахт, как правило, образуются тройные смеси (угольная пыль + метан + воздух) с тем или иным соотношением горючих компонентов. Главной особенностью тройных смесей является то, что взятые в отдельности невзрывчатые концентрации метана и угольной пыли в смеси с воздухом приобретают взрывчатые свойства. Присутствие метана даже в небольших количествах заметно снижает нижний предел взрываемости угольной пыли. Кроме того, выработки, оборудованные конвейерным транспортом, особо опасны в отношении возникновения и распространения по ним взрывов угольной пыли. Об этом свидетельствует самая крупная авария в Донбассе по катастрофическим последствиям, которая произошла на шахте им. Баранова (г. Красnodон). В связи с вышеуказанным, исследование динамики рудничных аэрозолей, образовавшихся при добыче и транспортировке угля, весьма актуально.

Постановка задачи. Отложение пыли по длине выработки может быть определено по измерению ее концентрации в воздухе. Правильно определить содержание и обосновать место отложения наиболее взрывоопасной фракции аэрозоля можно только при известной функции распределения пыли и знании закономерностей изменения распределения или параметров функции в процессе распространения рудничных аэрозолей. Поэтому, при выполнении исследований динамики аэрозолей в конвейерных выработках угольных шахт, с целью повышения уровня безопасности конвейерных установок при их эксплуатации, были поставлены следующие задачи:

- выполнить анализ распределения пыли по фракциям при ее образовании;
- установить закономерности изменения дисперсного состава пыли в процессе ее распространения в конвейерной выработке.

Результаты работы. Как известно, по мере движения рудничного воздуха по горным выработкам происходит оседание взвешенных пылевых частиц под

действием, в основном, гравитационных и инерционных сил. Причем динамика аэродисперсной системы осложнена различными процессами взаимодействия частиц с окружающей средой.

Распределение частиц по размерам в пылевом потоке для каждого конкретного случая устанавливается экспериментально одним из известных методов дисперсионного анализа [1] и выражается кривыми распределения или табличными данными. Дисперсный состав пыли является наиболее изменчивым и трудно предсказуемым фактором, который принято характеризовать функцией распределения $P(\delta)$ массы материала по диаметрам частиц или соответствующей плотностью распределения $f(\delta)$. Иногда используют функцию и плотность распределения числа частиц по размерам $P_n(\delta)$ и $f_n(\delta)$ и другие характеристики. Графически функции распределения изображаются в виде кривых распределения.

Анализ многочисленных данных экспериментальных исследований дисперсного состава аэрозолей как угольных так и рудных шахт [1, 2, 3, 4] показывает, что практически ни один график распределения, построенный в логарифмически вероятностной координатной сетке не имеет вида прямой, что свидетельствует о неприменимости логарифмически нормального закона распределения для описания рудничных аэрозолей. Причина этого заключается в том, что указанный закон распределения теоретически доказан Колмогоровым для материалов подвергавшихся измельчению в течении достаточно длительного времени не соответствует механизму образования рудничных аэрозолей. С другой стороны, указанное распределение приемлемо для описания ненарушенного состава пыли.

Рассмотрим процесс образования рудничных аэрозолей считая, что основными процессами, обуславливающими образование мелкодисперсных частиц пыли при добыче полезных ископаемых, являются процессы трения режущего инструмента о поверхность массива и, в основном, взаимное трение кусков ископаемого друг о друга при разрушении массива и их падении, а также при транспортировке. Очевидно, что дисперсный состав пыли, прежде всего, зависит от вышеуказанных процессов образования мелких фракций в продуктах разрушения массива, так как в момент образования, частицы пыли не являются агрегированными и не связаны с поверхностью массива и, вероятность их выноса воздушным потоком с зоны образования не зависят от дисперсного состава частичек. Интенсивность пылевыведения, напротив, зависит как от интенсивности процессов диспергирования, так и от условий выноса образовавшейся пыли потоком воздуха.

При взаимодействии двух трущихся поверхностей кусков разрушенного массива, то есть процесса который является определяющим при пылеобразовании (при разрушении массива, падении кусков и т. п.) происходит обязательное смещение и трение кусков разрушенного массива, вызванное силами давления режущего инструмента, гравитационными силами и силами инерции. При трении двух шероховатых поверхностей процесс образования пыли зависит, прежде всего, от степени шероховатости поверхностей, сил взаимодействия и прочностных свойств трущихся материалов. В общем случае процесс элементарного взаимодействия двух выступов шероховатости при трении поверхностей может

окончиться разрушением одного из выступов или проскальзыванием трущихся поверхностей без разрушения (рис. 1). Результат взаимодействия зависит при этом от множества факторов (относительной скорости, массы кусков, силы внешнего давления, формы выступов, вида материалов и т.д.) и носит вероятностный характер. В общем случае разрушение выступов шероховатости осуществляется по плоскостям каких-либо нарушений в выступах (границах зерен, кристаллов и т.п.) под воздействием силы среза F_{cp} . Расположения зон нарушения также носит вероятностный характер. Таким образом, в процессе взаимодействия может произойти скалывание любого из двух выступов шероховатости и образование частицы. Вероятность того, что в результате взаимодействия произойдет разрушение первого выступа шероховатости, в общем случае пропорциональна моменту силы F_{cp} равному $M_1 = F_{cp} h$ (где h - расстояние от точки взаимодействия до плоскости среза) и обратнопропорциональна площади среза $S_{cp.1}$.

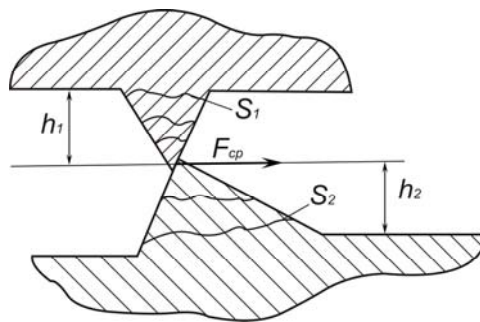


Рис. 1. Схема элементарного взаимодействия шероховатых поверхностей.

Приняв, что для выступа конусообразной формы площадь среза пропорциональна квадрату расстояния h , запишем вероятность разрушения первого выступа шероховатости и образования частицы высотой h как

$$P_1(h) = K_1' \frac{M_1}{S_1} = \frac{K_1}{h} \quad (1)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий свойства материала и силы взаимодействия.

Аналогично вероятность

$$P_2(h) = \frac{K_2}{h} \quad (2)$$

Вероятность того, что в результате взаимодействия размер образующихся частиц равен h

$$P(h) = P_1(h) \cdot P_2(h) = \frac{K_1 \cdot K_2}{h^2} = \frac{K_3}{h^2} \quad (3)$$

Шероховатость трущихся поверхностей зависит от множества факторов и, прежде всего, от вида разрушаемого материала. Разрушение массива и образование крупных трущихся кусков происходят главным образом по имеющимся различным нарушениям в массиве, границам зерен и кристаллов, посторонним включениям и т.п. В любом случае процесс образования поверхностей носит случайный вероятностный характер, а шероховатость в таком случае подчиняется нормальному закону распределения случайных величин (рис. 2)

$$f_h(h) = \frac{1}{\sigma_h \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{h^2}{2\sigma_h^2}} \quad (4)$$

где σ_h – среднеквадратическое отклонение размеров выступов и впадин относительно поверхности.

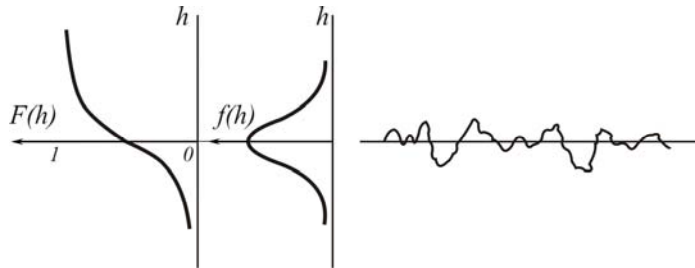


Рис. 2. Распределение бугорков шероховатости на трущихся поверхностях

При разрушении выступов шероховатости и образований аэрозоля величина h в общем случае является пропорциональной эквивалентному диаметру частиц δ . С учетом этого, принимая во внимание вероятность образования частиц при взаимодействии шероховатых поверхностей (3) распределение числа частиц пыли образовавшихся при трении

$$\varphi_h(\delta) = f_h(h) \cdot P(h) = \frac{K_3}{\sigma_h \delta^2 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma_h^2}} \quad (5)$$

С учетом зависимости массы сферической частицы от ее размера $m = \frac{1}{6} \pi \delta^3 \gamma$, распределение массы пыли от размера

$$\varphi(\delta) = \frac{K_3 \sqrt{\pi} \delta \gamma}{6 \sqrt{2} \cdot \sigma_h} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma_h^2}} \quad (6)$$

Функция распределения по размерам в таком случае

$$P(\delta) = \frac{\int_0^\delta \varphi(\delta) d\delta}{\int_0^\infty \varphi(\delta) d\delta} \quad (7)$$

После интегрирования получим

$$P(\delta) = 1 - e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma_h^2}} \quad (8)$$

Обозначив $\frac{1}{2\sigma_h^2} = b$ окончательно получим

$$P(\delta) = 1 - \exp(-b\delta^2), \quad (9)$$

$$f(\delta) = 2b\delta \exp(-b\delta^2). \quad (10)$$

Сопоставление полученных выражений с существующими эмпирическими и теоретическими функциями распределения показывает, что они совпадают с распределением Розина-Раммлера [5] при значении показателя степени $a=2$.

Выражения (9), (10) характеризуют распределение рудничной пыли в момент ее образования, то есть у источников пылевыведения. По мере движения запыленного воздуха по конвейерным выработкам происходит изменение концентрации пыли и изменение ее дисперсного состава. Основными процессами, оказывающими влияние на концентрацию и дисперсный состав пыли, являются инерционное и гравитационное осаждение частиц а также их диффузия. Диффузионные процессы играют существенную роль только для частиц с размерами $\delta < 1$ мкм и при анализе процессов изменения дисперсного состава рудничных аэрозолей могут не учитываться, так как доля указанной фракции в общей массе пыли даже на исходящих вентиляционных струях шахт не превышает 4%, Гравитационное осаждение частиц играет существенную роль в процессе осаждения пыли для производственных помещений и выработок с малой скоростью движения воздуха (например камер большего объема и подготовительных выработок). Характерный признак преимущественного гравитационного осаждения – интенсивное накопление пыли на горизонтальных и наклонных поверхностях и незначительное накопление на вертикальных поверхностях конвейерного става, а также кровле конвейерных выработок. Для остальных выработок наиболее характерным является инерционное осаждение пыли. Исходя из экспериментальных исследований авторами работ [6, 7] предложены эмпирические формулы для расчета концентрации по длине выработок. Однако эти выражения не являются универсальными, требуют экспериментального определения коэффициентов в выражении и не дают оценки изменения дисперсного состава пыли. Вопрос изменения дисперсного состава пыли при движении воздуха в выработках под воздействием гравитационных сил рассмотрен в [8]. Однако полученные выражения и порядок расчета настолько сложен, что результаты не представляют практического интереса.

Осаждение частиц монодисперсной пыли из турбулентного потока в круглом гладком трубопроводе, при равномерном распределении концентрации частиц пыли по сечению трубопровода и чисто гравитационных процессах осаждения рассмотрены Н. Фуксом [9]. Полученное им выражение имеет вид

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{2\tau_p g L}{\pi R \bar{U}}\right), \quad (11)$$

где $\tau_p = \frac{1}{18} \frac{\delta^2 \gamma}{\mu}$ – время релаксации частиц; L, R – длина и радиус трубопровода; $\bar{U}$ – средняя скорость воздуха в трубопроводе.

Приведенное выражение может быть использовано для анализа осаждения аэрозолей и в горных выработках при преимущественно гравитационном осаждении пыли. Учитывая то, что форма сечения выработок значительно отличается от круглого трубопровода в выражении (11) величину R определим как

$$R = \frac{2S}{P}$$

где S – сечение выработки; P – периметр выработки.

Воспользовавшись (11) с учетом начального распределения определим изменение концентрации пыли и дисперсного состава по длине выработки. Учитывая, что выражение (11) справедливо только для монодисперсной пыли, а также то, что концентрацию частиц в узком диапазоне размеров $\Delta\delta$ полидисперсного аэрозоля можно представить как $\frac{dC}{d\delta}\Delta\delta$, получим

$$\frac{dC}{d\delta} = \frac{dC_0}{d\delta} \exp\left(-\frac{2\tau_p gL}{\pi UR}\right) \quad (12)$$

подставив вместо τ_p его значение и введя величину

$$B = \frac{\gamma gL}{9\pi\mu RU} \quad (13)$$

получим

$$\frac{dC}{d\delta} = \frac{dC_0}{d\delta} \exp(-B\delta^2) \quad (14)$$

С учетом того, что

$$\frac{1}{C_0} \frac{dC_0}{d\delta} = f_0(\delta)$$

имеем

$$\frac{dC}{d\delta} = C_0 f_0(\delta) \exp(-B\delta^2) \quad (15)$$

Приняв начальное распределение из (10) имеем

$$C = C_0 \int_0^\infty f_0(\delta) \exp(-B\delta^2) d\delta = C_0 \int_0^\infty 2b\delta \exp(-b\delta^2) \exp(-B\delta^2) d\delta \quad (16)$$

Выполнив интегрирование, получим выражение для определения суммарной концентрации аэрозоля

$$C = C_0 \frac{b}{b+B} \quad (17)$$

Плотность распределения пыли по дисперсному составу определим как

$$f(\delta) = \frac{dC}{Cd\delta} = \frac{b+B}{b} f_0(\delta) \exp(-B\delta^2) \quad (18)$$

Окончательно плотность и функция распределения

$$\begin{aligned} f(\delta) &= 2(b+B)\delta \exp[-(b+B)\delta^2], \\ P(\delta) &= 1 - \exp[-(b+B)\delta^2] \end{aligned} \quad (19)$$

где $B = \frac{\gamma gL}{9\pi\mu RU}$ – величина зависящая только от геометрических размеров выработки, скорости воздуха и плотности частиц.

Эта величина легко определяется для каждого конкретного случая.

Из уравнений (19) видно, что по мере распространения аэрозоля в горных выработках и изменения его дисперсного состава закон распределения массы частиц не изменяется. Угол наклона прямой характеризует распределение в двойной логарифмической сетке, остается постоянным, а изменяется только начальное смещение прямой.

$$C_1 = \lg(\lg e) + 2 \lg \sqrt{b + B} \quad (20)$$

В реальных условиях горных выработок процесс осаждения под воздействием гравитационных сил может естественно отличаться от принятого (11). Отличия эти могут быть обусловлены неравномерным распределением концентрации пыли по сечению выработки и наличием иных механизмов осаждения, в частности инерционного. Однако, анализируя уравнения (11) и (15), можно заметить, что если процессы осаждения или распределения пыли в выработке экспоненциально связаны с временем релаксации, то закон распределения не меняется.

Концентрация пыли в точке измерения через концентрацию у пыли у почвы, с учетом выражения (17) может быть определена как

$$C = C_n \frac{b + B}{b + B + A} \quad (21)$$

При большой скорости вентиляционных потоков существенную роль начинает играть инерционное осаждение пыли. Такое осаждение происходит за счет локальных вихрей образующихся при обтекании элементов крепи, препятствий, выступов шероховатости и т.п., а также осаждение под воздействием поперечной составляющей пульсационной скорости. Интенсивность инерционного осаждения зависит от множества факторов и до сих пор в достаточной мере не изучена, более того нет единого мнения и в характере затухания пульсационной скорости у стенок выработок. Н. Фукс [9] считает, что на интенсивность осаждения на стенки выработок и на препятствия существенно влияет также электростатическая заряженность частичек. Однако можно согласиться с Н. Фуксом, что и в случае инерционного осаждения интенсивность осаждения пропорциональна концентрации частиц и их подвижности, определяемой временем релаксации. Формула описывающая процесс осаждения монодисперсного аэрозоля на участке сосуда с объемом V_b и площадью поверхности S_b имеет вид [9].

$$V_b \frac{dn}{dt} = S_b K_T n \tau_p \quad (22)$$

Откуда концентрация частиц монодисперсного аэрозоля

$$C = C_0 \exp\left(-\frac{S_b K_T}{V_b} \tau_p t\right) \quad (23)$$

Сопоставление выражения (13) с выражением для гравитационного осаждения показывает их однозначную зависимость от величины τ_p , поэтому и ход

дальнейшего решения аналогичен. Учитывая, что величина $t = \frac{L}{U}$, а $\frac{S_b}{V_b} = \frac{P}{S} = \frac{2}{R}$

введем новый коэффициент B_1 , характеризующий совместное воздействие инерционных и гравитационных сил

$$B_1 = \frac{\gamma g L}{9\pi\mu R U} + \frac{K_r L \gamma}{9\pi\mu R U} = \frac{\gamma L}{9\pi\mu R U} (g + K_r \pi) \quad (24)$$

Окончательно с учетом гравитационного и инерционного осаждения

$$\begin{aligned} f(\delta) &= 2(b + B_1)\delta \exp[-(b + B_1)\delta^2], \\ P(\delta) &= 1 - \exp[-(b + B_1)\delta^2] \\ C &= C_0 \frac{b}{b + B_1} \end{aligned} \quad (25)$$

При анализе процессов образования и распространения пыли в горных выработках учтены основные факторы влияющие на процесс образования и распространения пыли. Однако существует много других второстепенных факторов, которые в какой-то мере способны повлиять на распределение. В частности, при многократном взаимодействии трущихся поверхностей в процессе образования пыли, закон распределения шероховатости, будет в какой-то мере отличаться от первоначального распределения. При этом возрастет вероятность образования более грубых фракций и, как следствие, некоторого снижения показателя степени в уравнении распределения $P(\delta) = 1 - \exp(-b\delta^2)$. В свою очередь анализ процессов осаждения выполнен без учета процессов коагуляции аэрозоля, заряженности частиц аэрозоля, осаждения аэрозоля на стенки выработки за счет молекулярной диффузии и возможного вторичного сдувания осевших частичек пыли. Все эти процессы носят вероятностный характер и зависят от большого количества трудноопределяемых факторов. Однако они не являются определяющими и не могут существенно повлиять на распределение пыли. Учитывая изложенное, следует считать, что распределение рудничной пыли однозначно описывается распределением Розина-Раммлера при среднем значении показателя степени $a=2$. Незначительные отклонения от этого значения возможны в процессе образования пыли и при наличии механизмов осаждения пыли не связанных экспоненциально с временем релаксации частиц пыли. Для проверки справедливости сделанных выводов, сопоставим полученный результат с многочисленными экспериментальными данными по определению дисперсного состава пыли изложенных в работах ученых ВостНИИ [4], МакНИИ [1, 10], Кудряшова [11], Голузина [12, 13] Бройера [14] и Никитина [15]. На рис. 3. представлены наиболее характерные кривые распределения, построенные в двойной логарифмической координатной сетке, и теоретическая кривая распределения с угловым коэффициентом, равным 2, при $l = 0,005$.

Для всех приведенных кривых распределения характерно то, что они в основном имеют вид прямых линий в двойной логарифмической координатной сетке, в том числе и распределения по данным ВостНИИ, некоторые авторы, пытаясь связать их с логарифмическим нормальным законом, изображали в логарифмически вероятностной координатной сетке кривыми линиями. Некото-

рое исключение представляют отдельные распределения по данным МакНИИ [1] которые в области частиц с $\delta < 20$ представляют собой прямую линию а при больших размерах наклон прямой уменьшается.

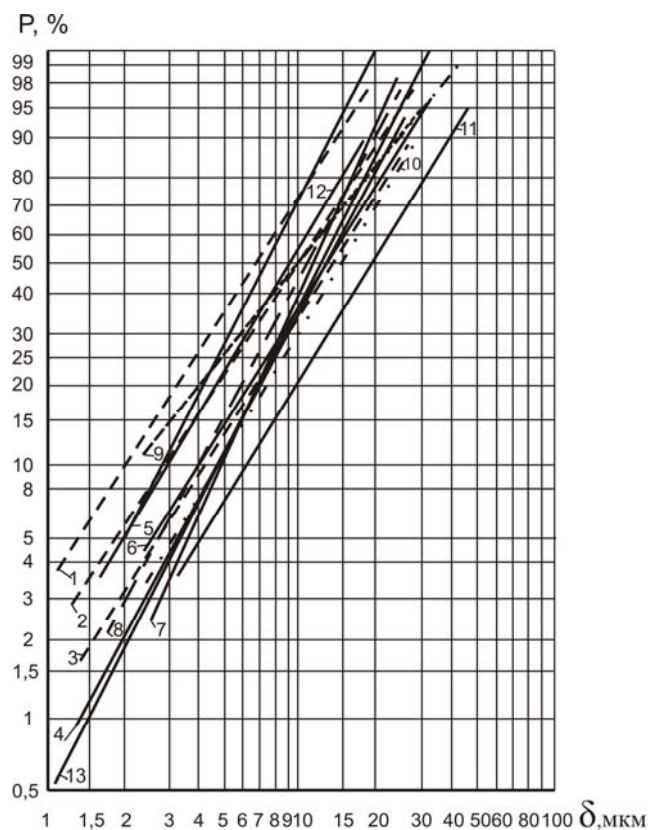


Рис. 3. Распределение массы пыли по диаметрам. 1 - на исходящей струе [4]; 2 - в 20 - 30 м от комбайна [4]; 3 - в зоне дыхания машиниста [4]; 4 - наиболее вероятное распределение, по данным МакНИИ [13]; 5 - конвейерный штрек в 300м от лавы [10]; 6- перегрузочный пункт [10]; 7 - крутое падение, лава [10]; 8 - по данным Кудряшова; 9, 10 - по данным Голузина [13]; 11 - по данным Никитина [15]; 12- по данным Бройера [14]; 13 - теоретическое распределение при $a=2$ и $v=0,005$.

Тангенс угла наклона прямых находится в основном в диапазоне от 1,7 до 2,2, причем характерно то, что вблизи источников пылеобразования, как правило, угол меньше, а по мере удаления от источников угол наклона распределения увеличивается. С одной стороны это можно объяснить тем, что процесс образования пыли в какой-то мере отличается от принятой нами модели. Как указывалось ранее, это может привести к уменьшению значения коэффициента a . С другой стороны, не исключены и возможные ошибки при отборе проб у источников пылеобразования, связанные с несоблюдением условий изокINETИЧНОСТИ отбора в турбулентных потоках и ошибки при обработке пробы. Тангенс угла наклона кривой, характеризующей наиболее вероятное распределение по данным МакНИИ, незначительно отличается от теоретического и составляет 1,9. По-видимому при разработке методов расчета уровня запыленности рудничной атмосферы целесообразно в дальнейшем принять эту величину. Ошибка в определении общей концентрации пыли, а также содержание различных фракций пыли при возможных изменениях величины $1,7 \leq a \leq 2,2$ не превысит $\pm 10\%$.

Выводы. На основании выполненных исследований установлено, что:

- дисперсный состав пыли является наиболее изменчивым и трудно предсказуемым фактором, оказывающим решающее влияние на изменение концентрации пыли по высоте горной выработки;

- логарифмически нормальное распределение и другие теоретические законы распределения получены для условий не соответствующих механизму образования рудничных аэрозолей и являются неприемлемыми для их описания;

Теоретический анализ процессов образования аэрозолей при разрушении горных пород, с учетом вероятностного характера разрушения и шероховатости трущихся поверхностей, позволил получить математическое описание функций распределения. Сопоставление полученных выражений с существующими эмпирическими функциями показывает, что они совпадают с распределением Розина-Раммлера при значении показателей степени равным двум.

При распространении аэрозолей в горных выработках изменения его дисперсного состава не приводят к изменению закона распределения. Угол наклона, прямой, характеризующей распределение в двойной логарифмической сетке, остается постоянным, а изменяется только начальное смещение прямой. Получены выражения позволяющие рассчитать концентрацию и дисперсный состав рудничных аэрозолей по длине и высоте горных выработок при наличии гравитационного и инерционного осаждения частиц.

Список литературы

1. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / П.М.Петрухин, Г.С.Гродель и др. - М., Недра, 1981. - 248 с.
2. Смачивание пыли и контроль запыленности в шахтах / В.В. Кудряшов, Л.Л. Воронина, М.К. Шуринова и др. - М.: Наука, 1979. - 200 с.
3. Кудряшов В.В., Химченко В.Ф. Свойства рудничной пыли и радиоизотопный метод определения запыленности воздуха // Колыма, 1969. - № 6. - С. 31 - 33.
4. Онтин Е.И., Кустов И.И. Исследование дисперсного состава пыли угольных шахт // Совершенствование вентиляции и способов борьбы с пылью и газом в угольных шахтах. Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского, вып. 171. - М.: 1978. - С. 53-61.
5. Коузов П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов. - Л.: Химия. - 1974. - 280 с.
6. Рид Р., Шервуд Т. Свойства жидкостей и газов. - М.: Гостоптехиздат, 1964. - 334 с.
7. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. - М.: Энергия, 1977. - 343 с.
8. Янов А.П., Ващенко В.С. Защита рудничной атмосферы от загрязнения. - М.: Недра, 1977. - 263 с.
9. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. - М.: Изд-во АН СССР, 1955. - 352 с.
10. Борьба с угольной пылью в шахтах / Е.Л.Бекирбаев, Г.С.Гродель и др. - М.: Госгортехиздат, 1959. - 287 с.
11. Кудряшов В.В. Исследование дисперсного состава угольной пыли // Безопасность труда в горной промышленности, 1967. - № 12.
12. Голузин Н.И. Изменение концентрации фракций пыли в зависимости от скорости воздуха в лаве // Известия вузов. Горный журнал, 1962. - № 2.
13. Голузин Н.И., Ярцев В.А. Оценка дисперсности рудничной пыли Челябинского бурого угля по весовым показателям // Известия вузов. Горный журнал, 1962. - № 3.
14. Бройер Г. Совершенствование методов замера пыли в производственных условиях // Глюкауф, 1961. - № 21.
15. Никитин В.С. К вопросу о дисперсном составе пыли, витающей в карьерах // Научные работы институтов охраны труда ВЦСПС, вып. 57. - М.: Профиздат, 1969.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Голінком В.І.
Надійшла до редакції 12.11.10*