

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ УГОЛЬНЫХ ЧАСТИЦ, ВЛИЯЮЩИХ НА ИХ ПЕРЕНОС И ОСАЖДЕНИЕ

Якунин А.А., Кобылкин А.С.

*Национальный исследовательский технологический университет МИСИС,
Москва*

Ключевые слова: частицы угольной пыли, размер частиц, масса частиц, форма частиц, осаждение частиц, воздушный поток, горная выработка.

Аннотация. В работе рассматривается влияние физических параметров частиц угольной пыли на дальность их переноса воздушным потоком в горной выработке. Основное внимание уделено размеру и плотности частиц, определяющим их массу, скорость осаждения, время нахождения во взвешенном состоянии и дальность переноса. Рассмотрено влияние формы частиц и особенностей вентиляционного потока. Показано, что при неизменных параметрах воздушного потока увеличение размера и плотности частиц приводит к сокращению времени их витания и уменьшению дальности переноса до осаждения.

ANALYSIS OF COAL PARTICLE PARAMETERS AFFECTING THEIR TRANSPORT AND SETTLING

Yakunin A.A., Kobyalkin A.S.

National University of Science and Technology MISIS, Moscow

Keywords: coal dust, coal dust particles, particle size, particle density, particle settling, airflow, mine working, transport distance.

Abstract. This paper examines the influence of the physical parameters of coal dust particles on the distance of their transport by airflow in a mine working. Particular attention is paid to particle size and density, which determine particle mass, settling velocity, suspension time, and horizontal transport distance. The influence of particle shape and ventilation airflow characteristics is also considered. It is shown that, under constant airflow conditions, an increase in particle size and density leads to a reduction in suspension time and a decrease in the transport distance before settling.

Введение.

Подземная разработка угольного месторождения сопровождается собой формирование сложной аэрологической обстановки, в которой одним из важных факторов является угольная пыль. Интенсификация разработки месторождений, рост производительности очистных и проходческих машин и усложнения условий для проветривания приводят к увеличению пылеобразования и повышают требования к контролю рудничной атмосферы. Одним из параметров, определяющих поведение угольной пыли в воздушной среде, является размер частиц. Мелкодисперсная пыль размером <10 мкм способна длительное время находиться во взвешенном состоянии и переноситься воздушными потоками на значительные расстояния. При исследовании процессов переноса важно учитывать не только общую концентрацию пыли, но и ее гранулометрический состав, который определяет разницу в характере движения отдельных фракций [1]. Однако дисперсность – это не единственная характеристика, влияющая на движение частицы. Скорость ее осаждения и продолжительность нахождения во взвешенном

состоянии зависят также от массы, и формы. Исследования процесса осаждения показывают, что частицы различных размерных фракций характеризуются различным временем осаждения. Также существенное влияние на перенос пыли оказывает и поток воздуха в горной выработке горной выработки. Вентиляционный поток формирует перемещение взвешенных частиц пыли, а изменение скорости движения воздуха способно изменять условия их витания и последующего осаждения. Установление зависимости между физическими и аэродинамическими характеристиками частиц угольной пыли и расстоянием их перемещения в вентиляционном потоке до осаждения этих частиц является одной из задач, требующих дополнительного изучения.

Основная часть

Перенос угольной пыли воздушным потоком в горной выработке определяется комбинацией характеристик воздушной среды и физических свойств самих частиц пыли. При одинаковых параметрах вентиляционного потока изменения в дальности перемещения частиц связаны с их размером, формой и плотностью. Эти параметры определяют массу частицы, интенсивность её взаимодействия с воздушной средой скорость осаждения и продолжительность витания во взвешенном состоянии.

Влияние размера частиц на дальность их переноса проявляется при анализе движения угольной пыли в турбулентном режиме движения воздушного потока. В качестве основных динамических характеристик частиц пыли рассматривают скорость осаждения, время витания и горизонтальную дальность полета. Экспериментальные и расчетные исследования были выполнены для частиц различного аэродинамического диаметра при значениях скорости воздушного потока 0,52 м/с [2]. Данные показывают определенную зависимость уменьшения дальности по отношению к увеличению размеров частиц. При увеличении аэродинамического диаметра с 3 до 100 мкм дальность переноса уменьшается приблизительно с 4,1 до 0,47 м, т.е. почти в девять раз. Также сокращается и время витания. Аналогичная тенденция сохраняется при других скоростях воздушного потока.

Такая закономерность соотносится и с результатами численного моделирования, где показано, что частицы размером 50 мкм оседают значительно быстрее, чем частицы размером 10 мкм, а мелкодисперсная пыль выносится дальше от источника пылевыведения. Также на движение влияют и зоны рециркуляции, локальные изменения скорости воздуха, однако размер частицы остается одним из основных факторов, определяющих характер распространения пыли в выработке [3]. Это подтверждается и исследованиями, где моделировалось движение частиц пыли размером от 10 до 300 мкм [4]. Путем исследования было установлено, что частицы от 10 до 50 мкм могут сохраняться во взвешенном состоянии в пределах призабойного пространства, тогда как частицы размеров 100 мкм и более оседают на почву, борта выработок и оборудование [4].

Еще одним немаловажным параметром является плотность частицы пыли. Её влияние связано с массой тела частицы. Для частицы определенного размера увеличение плотности означает увеличение массы при неизменной площади взаимодействия в воздушном потоке, тем самым возрастает роль силы тяжести и

изменяется скорость осаждения угольной пыли [2]. Это подтверждает необходимость учитывать различия плотности частиц при оценке скорости осаждения и длительности нахождения частиц во взвешенном состоянии, а также в зависимости от типа добываемого угля, учитывать разную плотность при расчетах переноса угольной пыли по выработкам.

Таким образом можно составить следующую закономерность:

$$\rho_p \uparrow \Rightarrow m \uparrow \Rightarrow v_{oc} \uparrow \Rightarrow t_{vit} \downarrow \Rightarrow L \downarrow,$$

где ρ_p – плотность частицы, кг/м³; при увеличении плотности возрастает масса частицы при неизменном ее размере; m – масса частицы, кг; более тяжелая частица в большей степени подвержена действию силы тяжести; v_{oc} – скорость осаждения частицы, м/с; с увеличением массы частица быстрее перемещается в направлении почвы выработки; t_{vit} – время витания, с, то есть продолжительность нахождения частицы во взвешенном состоянии; при увеличении скорости осаждения это время сокращается; L – горизонтальная дальность переноса, м; чем меньше время витания, тем меньше расстояние, которое частица успевает пройти вместе с воздушным потоком до осаждения.

Аналогичная связь строится и для параметров размера:

$$d \uparrow \Rightarrow v_{oc} \uparrow \Rightarrow t_{vit} \downarrow \Rightarrow L \downarrow,$$

где d – размер или аэродинамический диаметр частицы, мкм; при увеличении диаметра возрастает объем и масса частицы; v_{oc} – скорость осаждения; более крупные частицы, как правило, осаждаются быстрее вследствие возрастающего влияния силы тяжести и инерции; t_{vit} – время нахождения частицы во взвешенном состоянии; рост скорости осаждения уменьшает продолжительность витания; L – дальность переноса; чем быстрее крупная частица выпадает из воздушного потока, тем меньше расстояние она проходит по горной выработке.

При этом реальные частицы угольной пыли отличаются не только размером и плотностью, но и формой. Описываются разные типы форм, от более угловатых: кубообразных, столбчатых, плитчатых, удлинённо-плитчатых, пластинчатых и удлинённо-пластинчатых, до сферических, эллипсоидных и более вытянутых частиц [5, 6]. Однако для выработок простой геометрии при невысоких скоростях воздушного потока допускается использование изометрических или сферических форм для расчетного приближения [6]. Значит, при расчетах выработок сложной геометрии и сильного воздушного потока необходимо учитывать и параметр формы частиц угольной пыли, несмотря на то, что при приведении можно сконцентрировать внимание именно на плотности и размере, как основных измеряемых параметров.

Следовательно, данное объяснение позволяет обоснованно принять, что при неизменяемых параметрах вентиляционного потока дальность выноса частиц угольной пыли способна уменьшаться с увеличением их размера и плотности. Размер влияет прежде всего на скорость осаждения и время витания в потоке воздуха, а плотность определяет массу частицы и ее выпадения из воздушного потока.

Список литературы

1. Красилова В.А., Эпштейн С.А., Коссович Е.Л., Козырев М.М., Ионин А.А. Разработка методики измерений гранулометрического состава угольной пыли методом лазерной

- дифракции // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – №2. – С. 5-16. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_5.
2. Романченко С.Б. Комплексные исследования фракционного состава угольной пыли // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – №1. – С. 129-142.
 3. Кобылкин А.С. Распределение пыли различного дисперсного состава в горных выработках, в зависимости от расположения источника пылевыведения // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2017. – №6. – С. 291-302.
 4. Кобылкин С.С., Тимченко А.Н., Кобылкин А.С. Применение компьютерного моделирования при выборе параметров работы пылеотсоса, встраиваемого в проходческие комбайны // Безопасность труда в промышленности. – 2021. – №3. – С. 21-27. – DOI: 10.24000/0409-2961-2021-3-21-27.
 5. Шуринова М.К. Влияние степени метаморфизма антрацитовых углей на изменение формы частиц пылевидных фракций // Основы управления содержанием вредных примесей в рудничной атмосфере. – М.: Наука, 1980. – С. 126-130.
 6. Смирняков В.В., Родионов В.А., Смирнякова В.В., Орлов Ф.А. Влияние формы и размеров пылевых фракций на их распределение и накопление в горных выработках при изменении структуры воздушного потока // Записки Горного института. – 2022. – Т. 253. – С. 71-81. – DOI: 10.31897/PMI.2022.12.

Сведения об авторах:

Кобылкин Александр Сергеевич – к.т.н., доцент, доцент кафедры БЭГП;

Якунин Антон Алексеевич – аспирант кафедры БЭГП.