

УДК 622.411.52:532: 62 - 784.4

РАЗРАБОТКА ФИЗИЧЕСКОЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЕХНОГЕННОГО
ПЫЛЕВОГО КОЛПАКА НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ШАХТНОГО КОМПЛЕКСА
УГОЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Малеев В.Б., Гого В.Б., Скорынин Н.И., Малеев А.В., Кудрявцев А.А.
(ДонНТУ, Донецк, Украина)

Исследовано влияние технологических процессов угольных шахт на атмосферный воздух поверхностного комплекса этих предприятий.

Вследствие чрезвычайно высокой концентрации в Донецкой области промышленных производств, на регион приходится более четверти всех выбросов вредных веществ в атмосферу в целом по Украине.

В угольной промышленности мощными источниками загрязнения атмосферы являются вентиляторные установки главного проветривания, которые в течение суток выбрасывают в техногенный пылевой колпак, покрывающий шахтный поверхностный комплекс, более 1,5 тонн аэрозольной пыли каждая, создавая при этом превышение ПДК в 2-3 раза. Эта пыль агрессивно действует на оборудование поверхностного комплекса, провоцирует опасные заболевания органов дыхания рабочих.

В работах [1,2] подчёркивается, что поступление вентиляционного воздуха в шахту осуществляется, как правило, с территории её поверхностного комплекса, что создаёт проблемы для системы вентиляции шахты в обеспечении нормативного качества свежего воздуха по пыли. Воздушная среда производственных зон шахты, как на поверхности, так и под землёй наполняется аэрозольной пылью, опасной системным и регулярным негативным воздействием на здоровье шахтеров, и несущей угрозу возможных взрывов.

В угольной отрасли из примерно 400 эксплуатирующихся пылеочистных сооружений 64% не обеспечивают нормативную очистку. Около 30% источников пыли не оснащены пылеулавливающими установками [3].

С вентиляционными выбросами шахт в атмосферу технологического комплекса шахтной поверхности поступает значительное количество угольной пыли, метана, которые могут быть использованы в качестве вторичного энергоресурса для получения тепла и электрической энергии, необходимой для шахты. По нашим оценкам воздушная среда поверхностного комплекса шахты каждую минуту, в среднем, наполняется отработанным вентиляционным воздухом в объёме, примерно, 200 тыс. м³ с концентрацией пыли, примерно, (5-7)мг/м³, что в течение суток составляет выброс 1,5 тонны пыли.

Физическая модель процесса загрязнения пылью атмосферы поверхностного комплекса шахты состоит в том, что перенос пыли от источников в воздухе происходит за счет турбулентных процессов газообмена с последующим выпадением пыли на дневной поверхности шахты. В слоях запылённого воздуха наблюдаются значительные положительные (восходящие) градиенты скорости воздушных масс в зонах расположения основных источников пыли, т.к. их температура в течение года не ниже 20°С.

Математическая модель процесса загрязнения пылью поверхностного комплекса шахты через атмосферу разработана на основе изменения концентрации пыли, выброшенной источником (например, главной вентиляторной установкой) в атмосферный воздух производственного пространства шахты с учётом влияния скорости атмосферного ветра. Для исследования принято известное уравнение переноса частиц пыли в атмосферном воздухе [4, 5]:

$$\frac{\partial q}{\partial t} = - \left(u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} \right) - w \frac{\partial q}{\partial z} + k_x \left(\frac{\partial^2 q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 q}{\partial y^2} \right) + \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q}{\partial z} - \frac{q}{\tau},$$

где q - массовая концентрация пыли; u , V , y - проекции мгновенных скоростей движения частицы пыли на оси координат x , y , z ; k_x , k_z - коэффициенты турбулентности воздуха по горизонтали и

вертикали; m - время релаксации частицы пыли.

Из уравнения (1) следует, что концентрация пыли в фиксированной точке объёма ($\partial q / \partial t$ - локальная производная) изменяется во времени под влиянием ряда факторов, а именно так, что первое слагаемое в правой части уравнения (1) характеризует приток частиц пыли от источников, в точках которых концентрации пыли и скорости ветра известны.

Для оценки второго слагаемого уравнения (1) необходимо знать вертикальные профили концентрации пыли и скорости.

Третье слагаемое в правой части уравнения (1) характеризует распространение (диффузию) пыли на некоторое расстояние от источника. Целесообразно, в соответствии с опытными данными, описывать распределение пыли по горизонтальной поверхности шахты в соответствии с формулой Гаусса [6], т.е.

$$q(x, y, z, t) = S_{\text{exp}}(-0,5R^2\sigma_R^{-2})(2\pi\sigma_R^2)^{-1}q^*(z, t),$$

где $R = \sqrt{x^2 + y^2}$ - расстояние нахождения частицы пыли от оси z ; σ_R - среднеквадратическое отклонение расстояния; $q^*(z, t)$ - концентрация пыли, осредненная по горизонтальной площади на высоте по координате z в момент времени t :

$$q^*(z, t) = \lim \frac{1}{S} \iint_S q(x, y, z, t) dS. \quad (3)$$

Выражение (3) определяет максимальное значение концентрации пыли в начале координат.

На приток частиц пыли в воздух поверхностного комплекса шахты влияет вертикальный турбулентный обмен, представленный четвертым слагаемым уравнения (1).

Пятое слагаемое правой части (1) описывает отток пыли в результате захвата ее каплями и кристаллами атмосферных осадков над территорией шахтного поверхностного комплекса. При

$$\frac{\partial q}{\partial t} = -\frac{q}{\tau}. \quad (4)$$

Интегрируя (4) при начальных условиях ($q = q_0$ при $t = t_0$), имеем:

$$q(t) = q_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right). \quad (5)$$

доминирующем действии только этого фактора уравнение (1) примет упрощенный вид:

Анализируя (5), отмечаем, что: при $I = m$ концентрация пыли убывает в 2,72... раза, что раскрывает физический смысл параметра времени «жизни» пыли, т.е. её нахождения (витания) в воздухе.

Исследуем (1) для частного случая, при котором будут усредненными параметрами за

$$u \frac{\partial q}{\partial x} + v \frac{\partial q}{\partial y} \approx 0.$$

некоторый период времени составляющие уравнения так, что: $-\frac{\partial q}{\partial t} \approx 0$;

Горизонтальную диффузию учтем с помощью формулы (2), тогда уравнение (1) примет вид: где \bar{q} - усредненная масса концентрации пыли.

$$\frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} - w \frac{d\bar{q}}{dz} - \frac{\bar{q}}{\tau} = 0, \quad (6)$$

Вблизи поверхности шахтного комплекса коэффициент турбулентности линейно растет с высотой:

Интегрируя (6) при $m \tau \rightarrow \infty$ в измерениях высоты, имеем:

$$k_z \frac{d\bar{q}}{dz} - \bar{w}\bar{q} = A. \quad (8)$$

$$k_z = k_0 + \frac{k_\infty}{L} z. \quad (7)$$

Постоянную интегрирования (A) определим из условия, что на верхней границе пограничного слоя концентрация пыли и турбулентность практически равны нулю, т.е. при $z = H$, $A = 0$.

Уравнение (8) примет вид:

$$-k_z \frac{d\bar{q}}{dz} = (\bar{w}_g - \bar{w}_a)\bar{q}, \quad (9)$$

где \bar{w}_g и \bar{w}_a - осредненные по всему пограничному слою скорости падения частиц пыли и вертикального перемещения воздуха.

Чтобы проинтегрировать (9), введем независимую переменную, связанную с

$$\eta = (1 + \varepsilon) \exp\left(\frac{z}{L}\right) - 1$$

Тогда уравнение (9) запишем так:

$$\frac{d\bar{q}}{\bar{q}} = -\delta \frac{d\eta}{\eta}, \quad (10)$$

Интегрируя (10), получим:

$$\bar{q}(z) = \bar{q}_1 \left(\frac{\eta}{\eta_1}\right)^{-\delta}, \quad (11)$$

где η - экспоненциальная функция высоты; $\bar{q}(z)$ - степенная функция.

Обозначим, что скорость убывания концентрации $\bar{q}(z)$ при увеличении z зависит от параметров (a) и (b):

$$a = (\bar{w}_g - \bar{w}_a) k_\infty^{-1}; \quad b = (\bar{w}_g - \bar{w}_a) k_1^{-1}. \quad (12)$$

Малые значения параметров (a) и (b) относятся к случаям сильно развитого турбулентного обмена.

Это имеет место при больших значениях k_∞ и k_1 в выражении (12).

При больших значениях параметров (a) и (b) концентрация пыли снижается с увеличением высоты, вследствие чего ее содержание незначительно на высотах и велико вблизи поверхности шахты. Большие величины (a) и (b) возникают при антициклонах.

При указанных условиях производственного пространства угольной шахты над ее поверхностью возникает устойчивая воздушно-пылевая среда - техногенный пылевой колпак (ТПК).

В дальнейших исследованиях необходимо рассмотреть вопросы влияния частиц аэрозольной пыли на процессы конденсации газообразных примесей и паров воды в воздухе техногенного пылевого колпака и исследовать размеры ТПК

Список литературы:

1. Медведев Э.Н., Мартовицкий В.Д., Кашуба О.И., Крутенко С.А., Топчий С.Е. Теория и практика охраны труда на угольных шахтах. - Макеевка, МакНИИ: ООО «Промдрук», 2006. - 600 с.
2. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / П.М. Петрухин, Г.С. Гродель, Н.И. Жилиев и др. - М.: Недра, 1981. - 271 с.
3. Справочник по борьбе с пылью в горнодобывающей промышленности / Под ред. А.С. Кузьмича. - М.: Недра, 1982. - 240 с.
4. Антропогенные изменения климата / Под ред. М.И. Будыко и Ю.А. Израэля. - Л.:

Гидрометеиздат, 1987. - 403 с.

5. Берлянд М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы.

- Л.:

Гидрометеиздат, 1985. - 272 с.

6. Колебательные явления в многофазных средах и их использование в технологии / Р.Ф. Еаниев, Н.И. Кобаско, В.Д. Лакиза и др. - Киев: Техника, 1980. - 142 с.