

УДК 622.411.52:532: 62 - 784.4

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ПОВЕДЕНИЯ ПЫЛИ
НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ШАХТНОГО ТРАНСПОРТА

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

Показано, что процессы выбросов пыли вентиляторными установками в воздух техногенного пылевого колпака непрерывны и системны, поэтому являются установившимися.

В подземных условиях и на территории шахтного поверхностного комплекса, накрытого техногенным пылевым колпаком (ТИК), происходит систематически вредное воздействие аэрозольной пыли на шахтёров. В связи с чем изучение процессов поведения пыли в ТИК является актуальным и направлено на улучшение проблем охраны труда.

В работе [1] показано, что уравнение переноса частиц пыли в атмосферном воздухе с учётом горизонтальной диффузии имеет вид:

$$\frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial \bar{q}}{\partial z} - w \frac{d\bar{q}}{dz} - \frac{\bar{q}}{\tau} = 0, \quad (1)$$

где \bar{q} - усреднённая масса концентрации пыли; w - средневзвешенная скорость падения частиц пыли с учётом силы трения о воздух; k_z - коэффициент турбулентности воздуха по вертикали; τ - время релаксации частицы пыли.

Частицы аэрозольной пыли активизируют процессы конденсации газообразных примесей и паров воды, создавая капли кислотного дождя. Эффект этого процесса отчетлив в верхней части ТПК, где коэффициент турбулентности практически не зависит от высоты. Для этой части

$$\frac{\partial^2 \bar{q}}{\partial z^2} - b^2 \bar{q}_1 = 0, \quad (2)$$

слоя уравнение (1) примет вид:

где

На бесконечном по высоте удалении от источника пыли решение уравнения (2) примет вид:

$$q_1(z) = \bar{q}(z) \exp\left[\frac{w_g - w_a}{2k_\infty}(z - h)\right]; \quad (3)$$

$$b^2 = \left(\frac{w_g - w_a}{2k_\infty}\right)^2 + \frac{1}{\tau k_\infty}. \quad (4)$$

$$\bar{q}_1(z) = \bar{q}(z) \exp[-b(z - h)]; \quad (5)$$

С учетом (3) при $z > h$ имеем:

$$\bar{q}(z) = \bar{q}_h(z) \exp \left[- \left(\frac{w_g - w_a}{2k_z} + b \right) (z - h) \right]. \quad (6)$$

С учетом вымывания пыли её концентрация убывает с высотой при нисходящих ($w_a < 0$) и восходящих ($w_a > 0$) вертикальных воздушных потоках. Для любых в формуле (6) первый множитель в показателе экспоненты положителен, т.е.

$$m = \frac{w_g - w_a}{2k_z} + \sqrt{\left(\frac{w_g - w_a}{2k_z} \right)^2 + \frac{1}{\tau k_z}} > 0. \quad (7)$$

Это значит, что скорость убывания концентрации пыли при увеличении высоты в области шахтного техногенного пылевого колпака будет различна в условиях пониженного и повышенного атмосферного давления. Таким образом, метеосостояния влияют на вертикальное распределение q_n , т.е. $q(z^*)/q_n = 10^{-2}$. Тогда из формулы (6) имеем: $z^* = h + 4,6m^{-1}$, где параметр (m) определен из (7). Для принятых значений при $h = 10$ м высота z^* составляет 220 м в антициклонах и 1500 м в циклонах. Для частицы пыли (средний радиус 25 мкм, средняя плотность $\rho = 2 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$) высота техногенного пылевого колпака над шахтой составляет при антициклоне 80 м, а при циклоне 120 м. Скорость падения частиц пыли рассчитывалась по формуле Стокса.

Горизонтальный обмен пылью в воздушных слоях учтём с помощью нормального закона

$$q(x, y, z, t) = D \exp \left[-y^2 (2\delta_z^2)^{-1} \right] \cdot (\delta_y \sqrt{2\pi})^{-1} q^*(x, y, z, t), \quad (8)$$

распределения:

где $q^*(x, y, z, t)$ - осреднённая вдоль вертикальной оси z концентрация пыли:

где δ_z - среднее квадратичное отклонение концентраций турбулентных частиц пыли по оси z .

$$q^*(x, y, z, t) = \lim_{D \rightarrow 0} \frac{1}{D} \int_{-D}^D q(x, y, z, t) dz, \quad (9)$$

Модель процесса выпадения частиц пыли на территории поверхности шахты разработана в предположении, что частицы пыли, входящие в состав запылённого воздуха (газа), смещаются

$$(M + \delta M) t_i^0(z + dz) = M t_i^0(z) + M t_i^0(z),$$

по вертикали с уровня γ на уровень $\gamma + \Delta z$. При этом также предполагалось, что увеличение массы одиночной частицы пыли происходит за счет присоединения к ней примесей из запылённого воздуха ТПК. На основе законов сохранения энергии и массы для этого процесса можно записать:

откуда после преобразований получим

где Δt^0 - разность температур массы запылённых газов и атмосферного воздуха.

$$\frac{d\Delta t^0}{dz} + \frac{1}{M} \frac{dM}{dz} \Delta t^0 + \frac{dt^0}{dz} = 0, \quad (10)$$

Подъем массы запылённых газов прекратится тогда, когда их температура сравняется с температурой окружающего воздуха.

Расстояние смещения по горизонтали частицы пыли определим из соотношения:

$$\frac{z_1}{w_g} = \frac{x_1}{c}, \quad (11)$$

где z_1 - высота начального расположения частицы; x_1 - расстояние смещения по горизонтали; w_g - скорость падения частицы по вертикали; c - скорость ветра.

Распространение пыли по территории поверхности угольной шахты тесно связано с термодинамическими характеристиками источника пылевых выбросов. Часть пыли, переносимой из одной части района шахты в другую, может быть определена как отношение вероятностей переноса частиц пыли из данной координаты района в другую за установленный интервал времени к вероятности их перемещений вне района шахты.

Существенное влияние на изменение концентрации пыли в атмосфере поверхности шахты оказывает турбулентное перемещение пыли, связанное со скоростью ветра. Наибольшие концентрации пыли и примесей наблюдаются при скорости атмосферного ветра 2-4 м/с.

Производственные и технологические процессы угольной шахты создают над её поверхностью техногенный остров тепла, в котором под действием Архимедовых сил возникают восходящие потоки запылённого воздуха, а в горизонтальной плоскости при этом происходит сходимости запылённых воздушных течений из периферии к центру территории поверхности шахты.

Эти процессы создают над поверхностью шахтного технологического комплекса техногенный ветер, скорость которого порядка 1 м/с (рис. 1).

Возвратные воздушные течения под техногенным пылевым колпаком являются причиной того, что в ночное время техногенный ветер усиливается. Этот эффект особо проявляется при скорости атмосферного воздуха менее 4-5 м/с. Движение запылённых воздушных масс к центру шахтного поверхностного комплекса в целом носит характер фронтальной волны: у края наблюдаются небольшие пульсации скорости воздуха, втекающего в ТПК шахты в виде более холодных воздушных масс с периферии, что способствует возврату оседающей пыли с окраины шахты в её центральную часть (к источникам пыли). Это усложняет решение проблемы снижения концентрации пыли в центральной части ТПК.

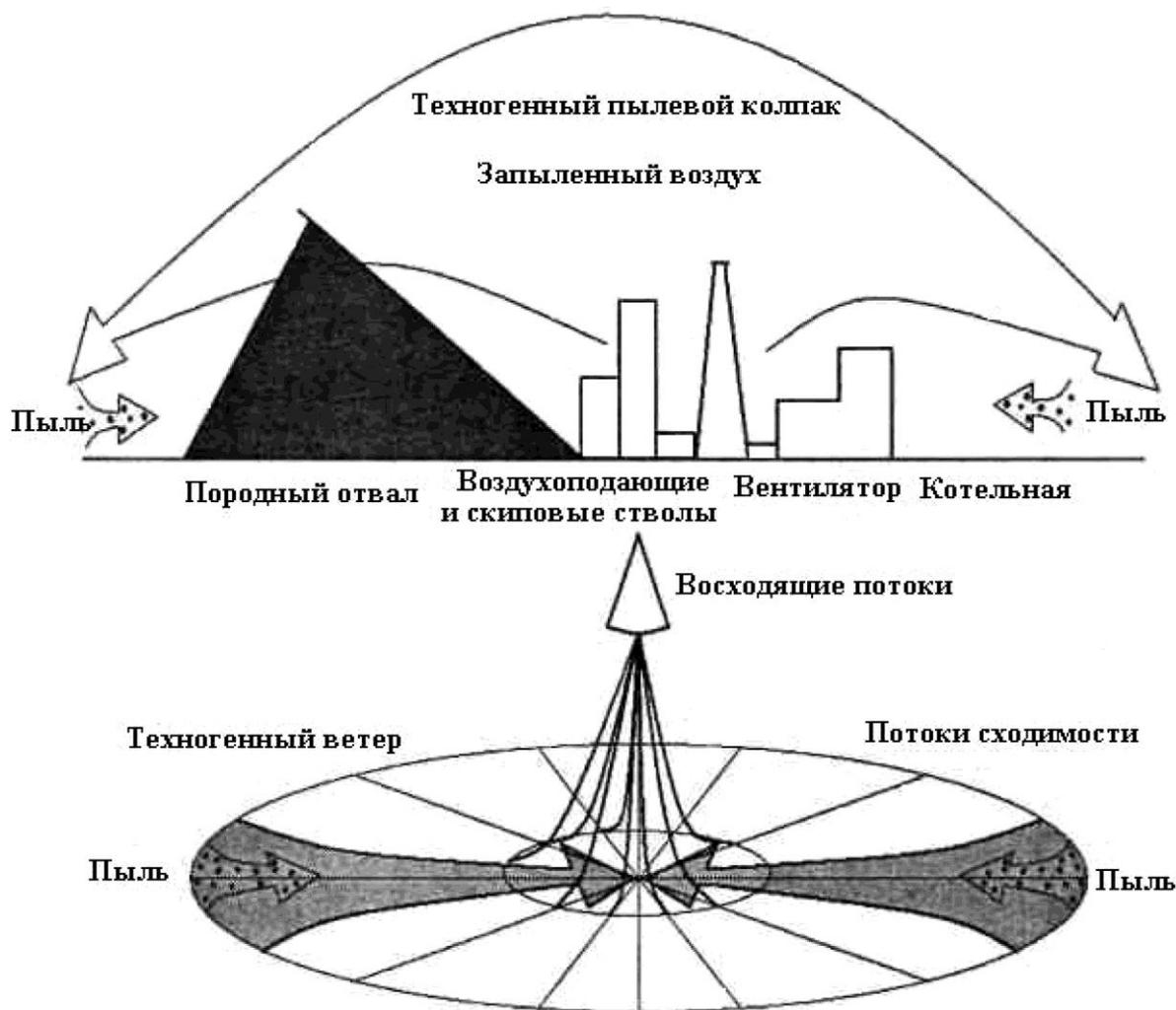


Рисунок 1 - Схема возникновения техногенного ветра и переноса пыли над поверхностным комплексом шахты

Таким образом, особенность распространения пыли в воздухе над поверхностью шахты под техногенным пылевым колпаком состоит в возвратном перемещении воздушных масс, наполненных пылевыми выбросами вентиляционных и теплотехнологических источников.

В дальнейших исследованиях следует рассмотреть негативное воздействие пыли на состояние воздушной среды угольной шахты.

Список литературы:

1. Гого В.Б., Малеев В.Б. Гидродинамическое подавление пыли в условиях угольных шахт: теория и технические решения. - Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ». - 2008. - 240 с.
2. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы в задачах охраны окружающей среды. - Новосибирск: Наука, 1985. - 256 с.