

## Литература

1. Aditya Kulkarni. Antioxidant compounds from Eucalyptus grandis biomass by subcritical liquid water extraction / Aditya Kulkarni, Shunsuke Suzuki, Hideo Etoh // J. Wood Sci. — 2008. — Vol 54. — P. 153–157.
2. Annamaria Basile. Extraction of Rosemary by Superheated Water / Annamaria Basile, Maria M. Jimnez-Carmona, Anthony A. Clifford // J. Agric. Food Chem. — 1998. — Vol 46. — № 12. — P. 5205–5209.
3. Боголицин К. Г. Перспективы применения сверхкритических флюидных технологий в химии растительного сырья / К. Г. Боголицин // Сверхкритические флюиды: теория и практика. — 2007. — Т. 2. — № 1. — С. 16–27.
4. Алиев А.М. Исследование влияния давления на процесс сверхкритической экстракции биологически активных веществ из растительного сырья / А.М. Алиев, Г.В. Степанов // Сверхкритические Флюиды: теория и практика. — 2006. — Т. 1. — № 1. — С. 101–105.
5. Ладыгина Е.Я. Химический анализ лекарственных растений / Ладыгина Е.Я., Сафронович Л.Н., Отряшенкова В.Э. и др.; Под ред. Н.И. Гринкевича. — М.: Высшая школа, 1983. — 176 с.
6. Государственная фармакопея СССР. — 11-е изд. — Москва, 1979. — Вып. 1. — 500 с.
7. Л.П. Смирнова. Количественное определение флавоноидов в цветках бессмертника песчаного / Л.П. Смирнова, Л.Н. Первых // Хим.-фарм. журн. — 1998. — № 6. — С. 35–38.
8. Т.В. Починок. Экспресс-метод определения антиокислительной активности лекарственных веществ / Починок Т.В., Тараховский М.Л., Портнягина В.А. и др. // Хим.-фарм. журн. — 1985. — Т. 19. — № 6. — С. 565–569.

© Дмитрук А.Ф., Лесишина Ю.О., Володченко И.И., 2011

Надійшла до редколегії 10.02.2011 г.

УДК 622.411.52:532: 62 – 784.4

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

### ИЗМЕНЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ И КОНЦЕНТРАЦИИ ПЫЛИ НАД ПОВЕРХНОСТЬЮ ШАХТНОГО КОМПЛЕКСА

*Показано, что процессы выбросов пыли вентиляторными установками в воздух техногенного пылевого колпака непрерывны и системны, поэтому являются установившимися. Разработана модель процесса выпадения частиц пыли на территории поверхности шахты.*

*Ключевые слова: дисперсность, шахтная технологическая пыль, пылеобразование, шахтный поверхностный комплекс, концентрация пыли, скорость осаждения пыли, диффузия частиц пыли.*

#### Проблема и её связь с научными и практическими задачами

В условиях поверхностного технологического комплекса шахты имеет смысл определить понятие «шахтной технологической пыли», которое будет обобщать понятия «рудничная пыль» в рудничной атмосфере шахты и «технологические пыли» в атмосфере поверхностного комплекса предприятия, когда к рудничной пыли, выбрасываемой в атмосферу вентиляторными установками главного проветривания, добавляются твёрдые составляющие от

продуктов горения угля в котельных агрегатах, терриконов и т.п. Поэтому пылевая обстановка в угольной шахте и в условиях её поверхностного комплекса определяется в конечном счёте интенсивностью пылеобразования и пылевыделения от источников производственных процессов, связанных с первичным энергоматериальным ресурсом – углём, с основными процессами его добычи и переработки, а также эффективностью борьбы с пылью.

Угольная частица диаметром 10 мкм, находящаяся на расстоянии 1 м от почвы, достигает ее за 4 мин, тогда как при диаметре 1 мкм - это время составляет 6,7 ч. Таким образом, частицы размером 1-2 мкм практически не оседают.

На степень дисперсности рудничной пыли оказывают влияние физико-механические свойства угля, способы разрушения угольного массива, вид погрузки и транспортирования горной массы, способность пылевых частиц переходить во взвешенное состояние, скорость и степень турбулентности вентиляционных потоков и другие факторы. Для оценки дисперсности пыли используют такие геометрические показатели, как наименьший, наибольший или средний размер частицы или удельная поверхность, однако более полно ее характеризует массовое содержание частиц каждого размера.

В табл. 1 приведены обобщенные экспериментальные данные МакНИИ о дисперсном составе взвешенной пыли в горных выработках угольных шахт Донбасса. Данные усреднены по 4170 пробам, набранным на 80 шахтах при разработке 140 шахтопластов.

Значения медианных диаметров частиц наглядно указывают на их зависимость от производственно-технических условий и горно-геологических факторов (степени метаморфизма угля, влажности, пористости и др.). Установлено, что при одинаковых условиях пылеобразования медианный диаметр взвешенной в воздухе пыли увеличивается с повышением относительной общей пористости угля и содержания его пластовой влаги.

**Таблица 1.** Дисперсный состав пыли в вентиляционных штреках пологих/крутых пластов вблизи лав

Марка угля	А	ПА	Т	ОС	К	Ж	Г	Д
Средний медианный диаметр взвешенной пыли, мкм	20/-	19/-	17/27	16/16	16/23	16/22	18/-	27/-

В связи с чем систематически вредное воздействие аэрозольной пыли на шахтёров происходит в подземных условиях и на территории шахтного поверхностного комплекса, накрытого техногенным пылевым колпаком (ТПК).

Изучение процессов поведения пыли в ТКП являются актуальными и направлены на улучшение проблем охраны труда.

**Анализ исследований и публикаций.** В настоящее время нам неизвестны материалы, которые освещали бы в литературе процессы пылеобразования в техногенном пылевом колпаке над поверхностью шахты.

**Постановка задачи.** Изучить движение запылённых воздушных масс к центру шахтного поверхностного комплекса и возможность попадания их в атмосферу горных выработок угольного предприятия.

**Изложение материала и результаты.** 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;  $\tau$  — время релаксации частицы пыли.

Частицы аэрозольной пыли, постоянно присутствующие в ТПК, активизируют процессы конденсации газообразных примесей и паров воды в воздухе техногенного пылевого колпака, к примеру, диоксида серы, создавая капли кислотного дождя. Эффект этого процесса отчетлив в верхней части ТПК, где коэффициент турбулентности практически не зависит от высоты. Для этой части слоя уравнение (1) примет вид:

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

где

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

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

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

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

С учетом (3) при  $z > h$  имеем:

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

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

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

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. Для этого проанализируем (7), рассчитав значения ( $m$ ).

При  $k_\infty = 5 \text{ м/с}^2$ ,  $v_g \approx 0$ ,  $\tau = 1 \text{ ч}$  и частицах пыли радиусом 1–2 мкм:

$$\frac{1}{\tau} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}; \quad w_a = -2 \cdot 10^{-2} \text{ м/с},$$

тогда, для антициклона

$$m = (2 + 3,3) \cdot 10^{-3} = 5,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1};$$

для циклона

$$m = (-2 + 3,3) \cdot 10^{-3} = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}.$$

В данном примере концентрация пыли убывает в  $e = 2,72...$  раз по сравнению со значением её при  $z = h$ . Следовательно, можно отметить, что метеобстановка оказывает определённое влияние на уровень концентрации пыли в воздухе шахтного поверхностного технологического комплекса под ТПК, а именно, при антициклоне концентрация пыли повышается у поверхности и понижается в верхней части пылевого колпака. Циклоническая обстановка сопровождается снижением концентрации пыли под пылевым колпаком на уровне поверхности шахты и возрастает в верхних уровнях ТПК. Таким образом, метеоусловия влияют на вертикальное распределение концентраций пыли в ТПК, как по высоте, так и во времени.

Определим границу высоты верхних слоёв (уровней) пылевого колпака  $z^*$ , используя формулу (6). Определим  $z^*$  как такой уровень, на котором концентрация пыли убывает в 100 раз по сравнению с  $\bar{q}_n$ , т.е.  $\bar{q}(z^*)/\bar{q}_n = 10^{-2}$ . Тогда из формулы (6) имеем:  $z^* = h + 4,6m^{-1}$ , где параметр ( $m$ ) определён 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.

Выбросы пыли в воздух шахтного техногенного пылевого колпака происходят из источников пыли, которые можно считать «точечными». Это абстрактное представление реального источника пыли, размеры которого очень малы в сравнении с размерами поверхности шахтного комплекса. В частности, главную вентиляторную установку шахты (или котельную) можно рассматривать как точечный источник пыли.

Процессы выбросов пыли вентиляцией шахты в воздух ТПК непрерывны и системны, поэтому являются установившимися. Определяющими в распространении пыли от одиночного точечного источника являются горизонтальные потоки воздуха и его турбулентная диффузия. Горизонтальный обмен пылью в воздушных слоях учтём с помощью нормального закона распределения:

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

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

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

где  $\delta_z$  — среднее квадратичное отклонение концентраций турбулентных частиц пыли по оси  $z$ .

Диффузию частиц пыли учтём в поперечном к ветру направлении, поскольку в продольном направлении роль диффузии незначительна. Принимаем: а) процесс распределения пыли установившийся; б) скорость гравитационного оседания частиц пыли и вертикальная скорость воздуха малы, т.е.  $w_g \approx 0$ ,  $w_a \approx 0$ ; в) направление ветра постоянно и не зависит от высоты.

Исходя из этого, уравнение (1) для концентрации  $q^*$  получит вид:

$$u \frac{\partial q^*}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial z} k_z \frac{\partial q^*}{\partial z}. \quad (10)$$

Определим граничные условия для искомой концентрации пыли  $q$ :

1)  $q \rightarrow 0$  при  $x \rightarrow 0, y \rightarrow 0, z \rightarrow 0$ ;

2)  $-k_z \frac{\partial q}{\partial z} \rightarrow 0$  при  $z \rightarrow 0$ ;

3)  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \int_{-\varepsilon}^{\varepsilon} \int_{H-\varepsilon}^{H+\varepsilon} u q p dy dz = M$  при  $x = 0, z = H$ , (11)

где  $H$  — высота источника выброса пыли;  $M$  — масса выбрасываемой пыли за единицу времени.

Первое граничное условие означает, что на бесконечном удалении от источника пыли её концентрация стремится к нулю.

Второе граничное условие означает, что оседание пыли на поверхность комплекса шахты не происходит, т.е. частицы пыли находятся в воздухе и не оседают.

Третье условие устанавливает массовую мощность выбросов пыли в координатах расположения источника.

Уравнение (10) при условиях (11) решается методами теории подобия. Решение позволяет установить, что у поверхности шахтного комплекса при  $z \rightarrow 0$  функция  $q^*$  имеет вид:

для малых значений ( $x$ ):

$$q^*(x,0) = aM(2\omega_z)^2 x \cdot w_T^{-3} \left( 1 + b \frac{2\omega_z x}{w_T} \right), \quad (12)$$

а для больших значений ( $x$ ):

$$q^*(x,0) = a_1 M (w_T x)^{-1} \left( 1 + b_1 \frac{w_T}{2\omega_z x} \right), \quad (13)$$

где  $w_T$  — скорость трения частицы пыли о воздух;  $2\omega_z$  — Кориолисов параметр;  $a, b, a_1, b_1$  — опытные постоянные.

Проанализируем выражения (12) и (13). Концентрация пыли у поверхности шахтного комплекса растёт вблизи источника и уменьшается на значительных расстояниях от него. Следовательно, на некоторых расстояниях

концентрация пыли достигает максимального значения. Согласно теории размерностей придём к следующим выражениям:

$$x_m = a_2 H (1 + b_2 2\omega_z H v_T^{-1} + \dots), \quad (14)$$

$$q_m = a_3 M (H v_T)^{-1} (1 + b_3 2\omega_z H v_T^{-1} + \dots). \quad (15)$$

Под высотой источника пыли понимаем сумму геометрических высот источника и добавочной высоты, на которую поднимается выброшенная пыль, т.е.

$$H = H_r + \Delta H.$$

В работе [2] дано выражение для добавочной высоты  $\Delta H$ :

$$\Delta H = \omega_0 R_0 u_{10}^{-1} [3,75 + 4,95 g R_0 \Delta T (T u_{10}^2)^{-1}], \quad (16)$$

где  $R_0$  — радиус устья источника пыли;  $u_{10}$  — горизонтальная скорость ветра на уровне  $z = 10$  м;  $T$  — температура окружающего воздуха;  $\Delta T$  — температура перегрева газовых выбросов, содержащих пыль;  $\omega_0$  — начальная скорость подъёма запылённых газов;  $g$  — ускорение силы тяжести.

Процесс осаждения пыли после выхода из источника по территории поверхностного комплекса шахты, накрытой техногенным колпаком, состоит в следующем. Вертикальные перемещения частиц пыли происходят с ускорением, равным ускорению воздуха (газа), несущего частицы пыли. Модуль этого ускорения принимается пропорциональным относительному изменению температуры газа, т.е.

$$a = \frac{d^2 z}{dt^2} = g \frac{T_i - T}{T}, \quad (17)$$

где  $a$  — модуль ускорения вертикального движения частицы пыли;  $T_i$  — начальная температура запылённого воздуха;  $T$  — температура окружающего воздуха.

Ускорение частиц пыли со временем уменьшается из-за уменьшения разности температур, что вызвано причинами: вовлечением окружающего воздуха в массу отходящего воздуха (газа), диссипацией энергии отходящего воздуха (газа).

При адиабатическом расширении масс отходящего воздуха (газа) имеем:

$$T_i = T_{i0} \left( \frac{P}{P_0} \right)^{\frac{k-1}{k}}, \quad (18)$$

где  $T_{i0}$ ,  $P_0$  — температура и давление запылённого воздуха (газа) в начале подъёма;  $k$  — показатель адиабаты запылённого воздуха (газа).

Вертикальный подъем масс запылённых газов от источника пыли создаёт вихревое вращение воздуха, которое по мере подъёма замедляется

силами трения. Этот процесс для масс запылённых газов будет происходить тем медленнее, чем больше эти массы. На высоту подъема запылённого воздуха (газа) оказывают влияние температура и скорость ветра. Чем устойчивее состояние атмосферы над поверхностью шахты, тем на меньшей высоте произойдет выравнивание температур запыленных газов и прекратится их подъем.

Модель процесса выпадения частиц пыли на территории поверхности шахты разработана в предположении, что частицы пыли, входящие в состав запылённого воздуха (газа), смещаются по вертикали с уровня  $z$  на уровень  $z + dz$ . При этом также предполагалось, что увеличение массы одиночной частицы пыли происходит за счет присоединения к ней примесей из запыленного воздуха ТПК. На основе законов сохранения энергии и массы для этого процесса можно записать:

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

откуда

$$t_i^0(z + dz) = (M + \delta M)^{-1} [Mt_i^0(z) + Mt^0(z)]. \quad (19)$$

Запишем значение температуры  $t(z + dz)$  на высоте  $(z + dz)$  в виде суммы:

$$t^0(z + dz) = t^0(z) + \delta t^0. \quad (20)$$

С учётом (20) имеем выражение для (19) в виде:

$$\Delta t^0(z + dz) = \frac{1}{M + \delta M} \{M[t_i^0(z) - t^0(z)] - M\delta t^0 - \delta M\delta t\}, \quad (21)$$

а значение  $t^0(z + dz)$  как

$$\Delta t^0(z + dz) = [t_i^0(z) - t^0(z)] + \frac{d\Delta t^0}{dz} dz.$$

Тогда (21) примет дифференциальный вид:

$$\frac{d\Delta t^0}{dz} + \frac{1}{M} \frac{dM}{dz} \Delta t^0 + \frac{dt^0}{dz} = 0, \quad (22)$$

где  $\Delta t^0$  — разность температур массы запылённых газов и атмосферного воздуха.

Уравнение (22) представляет собой дифференциальное уравнение первого порядка с неизвестной величиной разности температур. Наибольшие трудности для его решения представляет определение отношения массы присоединяемого воздуха к массе частицы пыли, с учётом вертикальной координаты, т.е. градиент присоединения массы к частице пыли по высоте подъёма.

Обозначим:

$$\alpha = \frac{1}{M} \frac{dM}{dz} \Delta t^0; \quad \gamma = \frac{dt^0}{dz}.$$

Предположим, что  $\alpha$  и  $\gamma$  не зависят от высоты подъема. Тогда уравнение (22) имеет решение:

$$\Delta t^0 = \left( \Delta t_0^0 + \frac{\gamma}{\alpha} \right) \exp(-\alpha z) - \frac{\gamma}{\alpha}, \quad (23)$$

где  $\Delta t_0^0$  — разность температур на исходящем уровне источника пыли при  $z = 0$ .

Высота подъема массы запылённых газов определяется условием  $\Delta t^0 = 0$ . Тогда,  $z = H$ , что даёт значение высоты подъема запылённых газов в атмосфере поверхностного комплекса шахты:

$$H = \frac{1}{\alpha} \ln \frac{\alpha}{\gamma} \left( \Delta t_0^0 + \frac{\gamma}{\alpha} \right). \quad (24)$$

Подъем массы запылённых газов прекратится тогда, когда их температура сравняется с температурой окружающего воздуха. Дальнейшее движение массы запылённых газов определяется следующими факторами: действием силы тяжести, силы сопротивления, полем скоростей воздуха. Первый фактор ведет к опусканию частиц на поверхность шахты, а два других — к перемещению их по горизонтали.

Исследуем влияние скорости атмосферного ветра на процесс осаждения частиц пыли на поверхности территории шахтного комплекса. Идеализируем задачу: масса отходящего воздуха (газов) состоит из частиц пыли одного размера, а скорость ветра является постоянной по величине и направлению. При этих условиях траектории частиц пыли будут представлять собой прямые линии, наклон которых к горизонтальной оси, направленной к ветру, равен отношению скорости падения частицы пыли к скорости ветра. Расстояние смещения по горизонтали частицы пыли определим из соотношения:

$$\frac{z_1}{w_g} = \frac{x_1}{c}, \quad (25)$$

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

Реально масса запылённых газов состоит из разнородных частиц пыли, а скорость ветра переменная. Поэтому будем считать, что значения скорости ветра известны на основе сезонных прогнозов. Примем модель, для которой атмосферный слой воздуха по вертикали состоит из подслоев толщиной по 10 м. В пределах этих подслоев скорость и направление ветра постоянны. Проанализируем процесс оседания частицы пыли, в котором скорость падения частицы зависит от ее радиуса и координаты высоты.

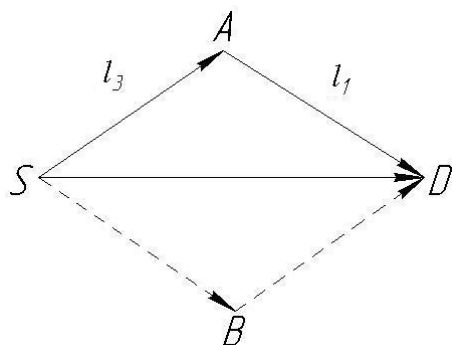


Рис. 1. Схема осаждения частиц пыли

Частицы пыли первого воздушного слоя осядут на территории поверхности шахты и оставят след по направлению скорости ветра в этом слое (рис 1).

Длина следа частиц пыли на



поверхности шахты составит:

$$l_1 = c_1 \Delta t_1 = \Delta z_1 \frac{c_1}{w_1}.$$

К концу промежутка времени  $\Delta t_2$  частицы пыли второго слоя сместятся по горизонтали на расстояние:

$$l_2 = c_2 \Delta t_2 = \Delta z_2 \frac{c_2}{w_2}.$$

В течение промежутка  $\Delta t_1$  частицы пыли второго слоя переместятся по горизонтали в направлении вектора скорости  $c_1$ . К концу промежутка времени  $(\Delta t_2 + \Delta t_1)$  частицы второго слоя осядут на землю. Чтобы определить положение частиц, осевших на землю из второго слоя, нужно сложить векторы  $c_2 \Delta t_2$  и  $c_1 \Delta t_1$ .

Следовательно, вектор  $\overline{SD}$  равен

$$\overline{SD} = c_1 \Delta t_1 + c_2 \Delta t_2.$$

Этот же результат будет получен, если от источника пыли сначала отложить вектор  $\overline{SB}$ , а затем сложить его с вектором  $\overline{BD}$ , т.е.

$$\overline{SD} = c_2 \Delta t_2 + c_1 \Delta t_1.$$

Следовательно, в точке  $B$  осядут частицы пыли, которые находились на верхней границе первого слоя.

Для определения положения точки  $B_i$  на земной поверхности, на которую осядут частицы, находящиеся в начальный момент на верхней границе  $i$ -го слоя, необходимо сложить вектора так, чтобы начало первого вектора располагалось в точке, соответствующей центру источника пыли.

Для частиц пыли другого радиуса направление движения в каждом слое остаётся таким же, как в первом случае, но происходит изменение вектора по длине. Обозначим через  $r'$  и  $r''$  наибольший и наименьший радиусы частиц, а через  $u'$  и  $u''$  скорости падения этих частиц. Если слои выбрать так, что время падения частиц пыли одинаково, то:

$$\Delta t_1 = \Delta t_2 = \dots \Delta t_i = \Delta t;$$

$$\Delta t'_1 = \Delta t'_2 = \dots \Delta t'_i = \Delta t';$$

$$\Delta t''_1 = \Delta t''_2 = \dots \Delta t''_i = \Delta t''.$$

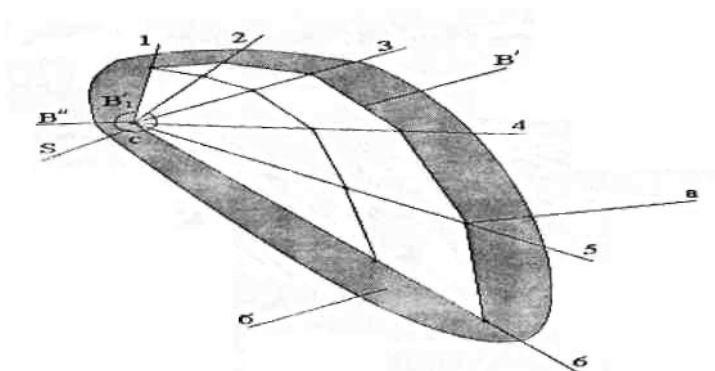
Очевидно, что  $\Delta t \neq \Delta t' \neq \Delta t''$ . Перемещение частиц пыли минимального радиуса по горизонтали за время  $\Delta t'_i$  равно  $c_i \Delta t'_i$ . Поскольку вектор  $\overline{SB} = l_1$ , то

$$c_1 \Delta t_1 = c_1 \Delta t \frac{\Delta t'}{\Delta t} = \overline{SB} \frac{\Delta t'}{\Delta t}.$$

Увеличивая вектор  $\overline{SB}$  в  $\frac{\Delta t'}{\Delta t}$  раз, определим положение точки  $B'_1$ , в которой осядут частицы пыли зоны радиуса  $r'$ , находящиеся в начальный момент времени на верхней границе слоя  $\Delta z_1$ . Аналогичны рассуждения и для нахождения точек  $B'_2, B'_3, \dots, B'_i$ .

Построенная таким образом ломаная линия  $OB'_1B'_2B'_3 \dots B'_6 \dots B'_i$  служит следом частиц пыли, выпавших из рассмотренного слоя. Уменьшая вектор  $\overline{SB}$  в  $\frac{\Delta t'}{\Delta t}$  раз, получим след  $OB''_1B''_2B''_3 \dots B''_6 \dots B''_i$  частиц максимального радиуса.

Площадь между ломаными представляет собой след выпадения частиц из массы запылённого воздуха (газов) на территории поверхностного комплекса шахты. Частицы пыли, которые находились в начальный момент в  $i$ -ом слое, после выпадения на поверхность территории шахты располагаются вдоль прямой  $SB''_iB'_iB'_i$  (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема осаждения частиц пыли на поверхности шахтного комплекса: а – площадь осаждения пыли, б – площадь осаждения пыли с поправкой на турбулентную диффузию

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.

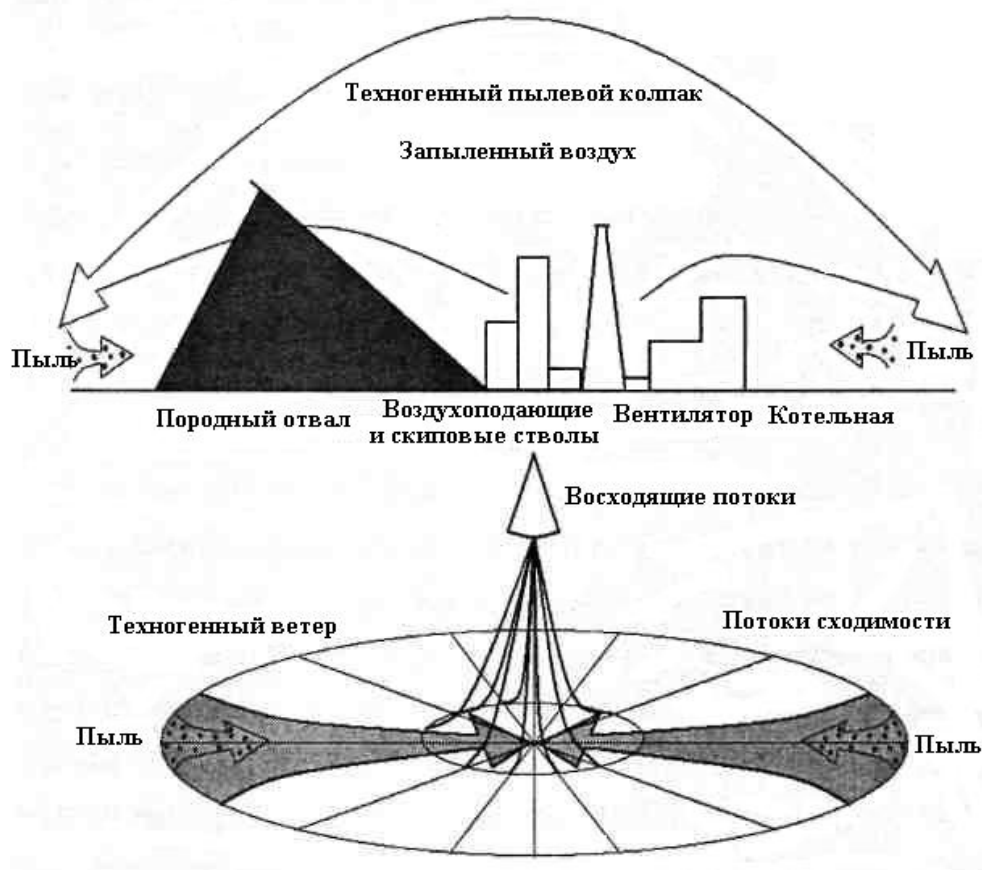
Концентрация частиц пыли в атмосфере шахты изменяется в пространстве и во времени, являясь функцией от характеристик источника и гидрометеорологических характеристик среды. Конечными целями мониторинга загрязнения пылью атмосферы шахтной территории являются: определение концентрации пыли в воздухе поверхностного комплекса шахты, её распределение и изменение во времени, что необходимо для управления качеством воздушной среды, в которой трудятся рабочие угольного предприятия.

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 сходимость 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. 3).



**Рис. 3.** Схема возникновения техногенного ветра и переноса пыли над поверхностным комплексом шахты

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.

### Выводы и направления дальнейших исследований

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 и распределение пыли по высоте.

### Литература

1. Гого В.Б. Гидродинамическое подавление пыли в условиях угольных шахт: теория и технические решения / Гого В.Б., Малеев В.Б. — Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ». — 2008. — 240 с.
2. Пененко В.В. Модели и методы в задачах охраны окружающей среды / Пененко В.В., Алоян А.Е. — Новосибирск: Наука, 1985. — 256 с.
3. Петрухин П.М. Борьба с угольной и породной пылью в шахтах / Петрухин П.М., Гродель Г.С., Жиляев Н.И. и др. — М.: Недра, 1981. — 271 с.

© Малеев В.Б., Гого В.Б., Скорынин Н.И., Малеев А.В., Кудрявцев А.А., 2011

Надійшла до редколегії 28.02.2011 г.

УДК 66.023.2

**А. А. Топоров, В. Н. Боровлев, П. В. Третьяков, А. А. Акусова (ДонНТУ)**

### ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАБОТЫ ХИМИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ МОДИФИЦИРОВАННОГО ГАММА-ПРОЦЕНТНОГО РЕСУРСА

*Разработана методика расчета модифицированного гамма-процентного ресурса обечаек с учетом технологических процессов, влияющих на их функционирование. Предложено использовать в этой методике критерии функционирования.*

*Ключевые слова: химическое оборудование, диагностика, гамма-процентный ресурс, коррозия, термическое сопротивление.*

Оборудование химической промышленности характеризуется сложными условиями работы, длительными сроками работы, значительными температурами и давлениями, непрерывностью протекания технологических процессов, работой с токсичными пожаро-взрывоопасными средами, высокой степенью агрессивности окружающей среды, токсичными и отравляющими рабочими средами, вредными условиями труда [1].

Отсутствие контроля за техническим состоянием оборудования или его некачественное выполнение может привести не только к нарушению условий его эксплуатации, но и к преждевременному прекращению функционирования наиболее подверженных деградационным процессам элементов оборудования, остановке технологических процессов, разрушению оборудования и связанному с этим материальному ущербу, а также таким тяжелым последствиям, как возникновение пожара, взрыва, загрязнение окружающей среды и гибели людей, т.е. возникновения и развития аварий. Одним из способов