

БЕЛЯЕВА Л.С., ЗИНЧЕНКО И.Н. (НИИГД «Респиратор»)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОГЛОЩЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В РУДНИЧНОМ ВОЗДУХЕ ПРИ СОЗДАНИИ ВОДЯНЫХ ЗАВЕС

В статье рассмотрены теоретические вопросы повышения эффективности поглощения вредных веществ в рудничном воздухе с помощью водяных завес, содержащих растворенные специальные химические добавки.

Причины появления вредных веществ в горных выработках проанализированы в [1]. Необходимо отметить, что практически все рассмотренные случаи загазования шахтной атмосферы связаны с аварийными ситуациями, в первую очередь с эндо- и экзогенными пожарами. В значительной мере улучшение состава рудничного воздуха может быть решено за счет работы системы рудничной вентиляции. Вместе с тем в практике работы металлургической, химической и других отраслей промышленности для очистки газов широко используются абсорбционные методы. В угольной промышленности для поглощения вредных веществ в вентиляционном потоке можно использовать установки водяного пожаротушения УВПК-Б [2], монтируемые на приводных секциях ленточных конвейеров, а также многофункциональный пожарный ствол СШПМ-50 [3]. Эти стволы имеют перекрывные устройства шарового типа, позволяющие формировать как сплошную водяную струю, так и распылённую дальностью до 12 м.

Цель работы – исследовать возможность использования водяных завес для снижения концентрации вредных веществ в горных выработках.

При формировании распылённой струи образуется водяная завеса, в которой капли жидкости находятся во взвешенном состоянии. Рассмотрим динамику каждой отдельной капли в вентиляционном потоке. Пренебрежём их коагуляцией, дроблением и взаимным влиянием друг на друга. Начиная с расстояния 1–1,5 м [3], водяная струя заполнит всё сечение выработки и, если капли жидкости обладают сорбционной способностью, вредные вещества будут поглощаться по всему сечению. Будем считать, что до полного раскрытия струи скорость движения капель превышает скорость вентиляционного потока, а далее совпадает с ней.

Выберем оси координат: x – продольная координата вдоль движения вентиляционного потока с началом от места полного заполнения сечения выработки каплями жидкости, y – поперечная координата снизу вверх с началом у почвы выработки.

Уравнение движения твёрдого или жидкого тела в поле силы тяжести в проекциях на оси координат при сопротивлении по закону Стокса имеет вид [4]

$$\begin{cases} m_i \dot{u} = -m_i g \sin \beta - 3\pi \mu d_i (u - u_0); \\ m_i \dot{v} = -m_i g \cos \beta - 3\pi \mu d_i v \end{cases} \quad (1)$$

где m_i – масса i -й капли жидкости, кг;

u, v – проекции вектора скорости движения капель жидкости на оси координат, м/с;

u_0 – скорость воздуха, м/с;

g – ускорение силы тяжести, м/с²;

β – угол наклона выработки к горизонту, рад;

μ – коэффициент динамической вязкости воздуха, кг/(м·с);

d_i – диаметр i -й капли жидкости, м.

Точки над функциями скорости в уравнениях системы (1) означают, как это принято в аэромеханике, полные производные по времени.

С учётом начальных условий

$$1)u(0) = u_0; \quad 2)v(0) = 0; \quad 3)x(0) = 0; \quad 4)y(0) = H_i \quad (2)$$

получено решение системы уравнений (1) в виде

$$\begin{cases} x(t) = (u_0 - \frac{g \sin \beta}{b})t + \frac{g \sin \beta}{b^2} [1 - \exp(-bt)]; \\ y(t) = H_i - \frac{g \cos \beta}{b} \left\{ t - \frac{1}{b} [1 - \exp(-bt)] \right\} \end{cases} \quad (3)$$

где x, y – продольная и поперечная координаты, м;

t – время с начала отсчёта, с;

H_i – первоначальное расстояние i -й капли от почвы выработки, м;

b – показатель скорости изменения траекторий капель жидкости (1/с).

Если известна дальность распространения водяной завесы, показатель скорости определяется по формуле

$$b = \frac{gx_0}{2Hu_0} + \sqrt{\left(\frac{gx_0}{2Hu_0}\right)^2 - g/H}, \quad (4)$$

где x_0 – дальность распространения водяной завесы, м;

H – высота выработки, м.

Из системы уравнений (3) путём исключения параметра времени получено уравнение траекторий капель жидкости в безразмерном виде

$$\bar{y} = \bar{H}_i - M \{ \bar{x} - [1 - \exp(-\bar{x})] \}, \quad (5)$$

где параметры для расчёта траектории полёта равны

$$\bar{y} = y/H; \quad \bar{H}_i = H_i/H; \quad M = \frac{g}{Hb^2}; \quad \bar{x} = bx/u_0$$

где H – высота выработки, м.

Формула (5) верна для тех значений расстояния от места подачи воды, пока капли не коснутся почвы выработки, т.е. для значений

$$\bar{x} < \bar{H}_i + 1/M$$

Верхняя граница раздела водяной струи и вентиляционного потока позволяет определить по формуле

$$\bar{y} = \bar{H}_i - M \{ \bar{x} - [1 - \exp(-\bar{x})] \},$$

при $\bar{H}_i = 1$ содержание воды в произвольном сечении выработки. Так, если известно начальное содержание воды, то её содержание вдоль выработки может быть определено по формуле

$$U = U_0 [1 - M \{ \bar{x} - [1 - \exp(-\bar{x})] \}], \quad (6)$$

где U, U_0 – текущее и начальное содержание воды в завесе, которые представляют собой отношения массы распыленной в вентиляционном потоке воды к массе воздуха, кг/кг.

Установку с водяной завесой предполагается устанавливать за источником выделения вредных веществ. Поглощение вредных веществ в рудничном воздухе может быть улучшено за счет специальных добавок различной химической природы, растворенных в воде. Сочетание физического процесса растворения вредного вещества с химическими реакциями его нейтрализации может повысить эффективность процесса дегазации воздуха в горных выработках. Представим функцию стока Ψ_{cm} по аналогии с функцией поглощения вредных веществ окружающими породами:

$$\Psi_{cm} = \frac{(\omega_0 + \omega_1)F_k}{Sl} (C_k - C) \quad (7)$$

где ω_0 и ω_1 – коэффициенты поглощения вредных веществ соответственно водой и химическими добавками в ней, м/с;

F_k – площадь поверхности капель в водяной завесе, м²;

S – площадь поперечного сечения выработки, м²;

l – длина участка выработки с водяной завесой, м;

C – концентрация вредных веществ, кг/м³;

C_k – равновесная концентрация вредных веществ на поверхности капель, кг/м³.

Площадь поверхности и объём всех капель жидкости, находящихся в воздухе, определяется соответственно по формулам

$$F_k = n\pi d^2; V_k = n\pi d^3 / 6 \quad (8)$$

где n – количество капель жидкости в потоке воздуха в заданном объёме;

d – средний диаметр капель, м.

Отношение площади поверхности капель жидкости к объёму воздуха можно выразить через содержание капель и их диаметр:

$$\frac{F_k}{Sl} = \frac{V_k}{Sl} \frac{F_k}{V_k} = \frac{6}{d} \frac{\rho_0}{\rho_s} U \quad (9)$$

где ρ_0, ρ_s – плотности соответственно воздуха и воды, кг/м³.

Подставляя соотношение (9) в формулу (7), получим

$$\Psi_{cm} = \frac{6(\omega_0 + \omega_1)\rho_0}{\rho_s d} U (C_k - C) \quad (10)$$

Рассмотрим квазистационарный режим конвективного переноса вредных веществ вентиляционным потоком с медленно меняющимися во времени параметрами. Этот случай имеет место, когда начальная стадия развития, например, экзогенного пожара закончилась и перешла в устойчивое горение с образованием в рудничном воздухе постоянного количества вредных веществ в единицу времени. Уравнение переноса вредных веществ можно представить в виде [1]

$$u_0 \frac{dC}{dx} = \frac{\omega \Pi}{S} (C_{\Pi} - C) + \Psi_{cm} \quad (11)$$

где ω – коэффициент поглощения вредных веществ окружающими породами, м/с;

C_{Π} – концентрация вредных веществ на поверхности окружающих пород выработки, кг/м³.

Мощность стока вредных веществ при создании водяной завесы, как установлено, определяется зависимостью (10), после подстановки которой в уравнение (11), будем иметь

$$u_0 \frac{dC}{dx} = \frac{\omega \Pi}{S} (C_{\Pi} - C) + \frac{6(\omega_0 + \omega_1)\rho_0}{\rho_s d} U (C_k - C) \quad (12)$$

Принимая во внимание, что в трубопроводе с водой и, следовательно, на поверхности капель жидкости концентрация вредных веществ равна нулю, приведём уравнение (12) к виду

$$\frac{dC}{dx} = -\left[\frac{\omega \Pi}{Q_0} + \frac{6(\omega_0 + \omega_1)\rho_0}{u_0 d \rho_s} U(x) \right] C + \frac{\omega \Pi}{Q_0} C_{\Pi}, \quad (13)$$

где $Q_0 = u_0 S$ – расход воздуха, м³/с.

За начало отсчёта x примем место установки водяной завесы. В качестве граничного условия для уравнения (13) зададим концентрацию того или иного вредного вещества перед водяной завесой:

$$C(0) = C_1 \quad (14)$$

Будем считать, что концентрация вредных веществ на поверхности окружающих пород заранее известная функция: $C_{II} = C_{II}(x)$. Тогда решение уравнения (13) с граничным условием (14) можно представить в интегральном виде [5]

$$C(x) = C_1 \exp\left[-\frac{\omega\Pi}{Q_0}x - \frac{6(\omega_0 + \omega_1)}{u_0 d} \frac{\rho_0}{\rho_s} \int U(x)dx\right] \times \left[\frac{\omega\Pi}{Q_0} \int_0^x C_{II}(\xi) \left\{ \exp\left[\frac{\omega\Pi}{Q_0}x + \frac{6(\omega_0 + \omega_1)}{u_0 d} \frac{\rho_0}{\rho_s} \int U(\xi)d\xi\right] \right\} d\xi + \Phi(0) \right] \quad (15)$$

где Φ – функция, определяемая в начале координат и равная

$$\Phi(x) = \exp\left[\frac{6(\omega_0 + \omega_1)}{u_0 d} \frac{\rho_0}{\rho_s} \int U(x)dx\right] \quad (16)$$

Введём в рассмотрение безразмерные комплексы, которые представляют собой критерии подобия при моделировании процессов поглощения вредных веществ соответственно породами, водяной завесой и химическими добавками к ней:

$$N = \frac{\omega\Pi}{Sb}; \quad N_0 = \frac{6\omega_0}{bd} \frac{Q_s}{Q}; \quad N_1 = \frac{6\omega_1}{bd} \frac{Q_s}{Q}; \quad M = \frac{g}{Hb^2}; \quad \bar{x} = bx/u_0,$$

где Q_s – расход воды, м³/с.

Остальные критерии подобия были установлены ранее и характеризуют собой соответственно силы гравитации и расстояние от места установки водяной завесы.

Представим уравнение (15) в критериальном виде

$$\bar{C}(\bar{x}) = C(x)/C_1 = \exp[-N\bar{x} - (N_0 + N_1) \int U(\bar{x})d\bar{x}] \times \left[N \int_0^{\bar{x}} C_{II}(\bar{\xi}) \left\{ \exp[N\bar{x} + (N_0 + N_1) \int U(\bar{\xi})d\bar{\xi}] \right\} d\bar{\xi} + \Phi(0) \right] \quad (17)$$

Установленная зависимость (17) связывает между собой параметры, характеризующие процессы поглощения вредных веществ окружающими породами, водяной завесой и химическими добавками в ней, и параметры вентиляционного потока и капель жидкости. На рисунке 1 представлены результаты моделирования поглощения вредных веществ в относительных координатах при отсутствии и включении водяной завесы с химическими добавками и без них. При моделировании критерии подобия были приняты равными:

$$M = 1; \quad N = 0.05; \quad N_0 = 0-0.1; \quad N_1 = 0-0.4$$

Из рисунка 1 видно, что для данных условий снизить содержание вредного вещества до двух предельно допустимых уровней концентраций в шахтной атмосфере – максимально допустимой (МДК) и предельно допустимой (ПДК) возможно только с применением водяной завесы, содержащей специальные подобранные химические добавки к воде.

Таким образом, проведенный теоретический анализ показывает принципиальную возможность снижения концентрации вредных веществ в шахтном воздухе за счет работы водяных завес, эффективность работы которых повышается при введении в воду специальных добавок. В ходе дальнейших экспериментальных исследований будут подобраны качественный и количественный составы водных растворов, обладающих поглощающей способностью по отношению к вредным веществам, появляющимся в рудничном воздухе при возникновении аварийных ситуаций.

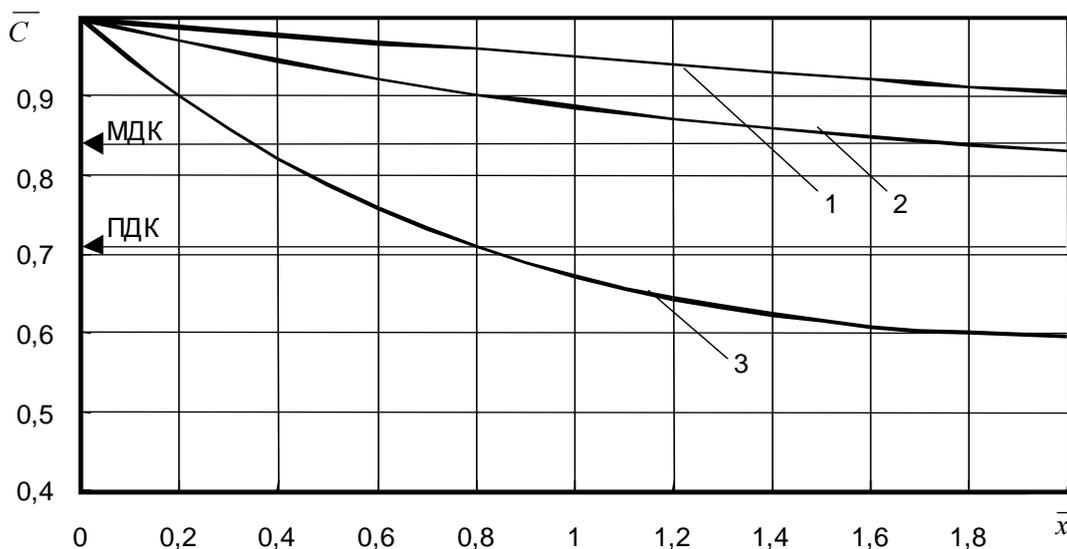


Рисунок 1— Относительное распределение вредных веществ в горной выработке без водяной завесы (1), с водяной завесой (2) и с химическими добавками к ней (3)

Библиографический список

1. **Беляева Л.С.** Комплексный анализ химического загрязнения шахтной среды // Сборник научных трудов НГУ/ – Днепропетровск: РИК НГУ, 2003. – т. 2. – С. 497 - 504.
2. **Ющенко Ю.Н., Лапин Л.И.** Автоматические установки пожаротушения и локализации для горных выработок шахт. // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр. / НИИГД. – Донецк, 2002. – С. 32 –37.
3. **Пашковский П.С., Филимонов С.Г., Ломако В.А.** Многофункциональный пожарный ствол СШПМ-50 // Горноспасательное дело: Сб. науч. тр./ НИИГД. – Донецк, 2002. – С. 8 –16.
4. **Бухгольц Н.Н.** Основной курс теоретической механики, ч. I. – М.: Наука, 1964. – 468 с.
5. **Краткий физико-технический справочник**, т. I. / Под общей редакцией К.П.Яковлева. – М.: Госиздат физ-мат. лит., 1960. – 412 с.

© Беляева Л.С., Зинченко И.Н. 2004

УДК 502.34:352

Г.В. АВЕРИН, А.В. ЗВЯГИНЦЕВА, (ДОННТУ)

ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ХИМИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ

Работа направлена на разработку подходов в определении приемлемых и неприемлемых экологических рисков на основе анализа критериев воздействий при загрязнении атмосферы

Ключевые слова: оценка риска загрязнения атмосферы, потенциальная опасность, неблагоприятные события, нормы и критерии оценки воздействия, временной ряд распределения концентраций, допустимый уровень, контроль загрязнения на стационарных постах

В настоящее время концепция оценки рисков получила широкое распространение во всем мире в процессе принятия решений по управлению качеством окружающей среды. Методология риск-анализа сегодня достаточно быстро совершенствуется [1, 2, 3].

Большинство определений риска сводятся к тому, что риск – это вероятность реализации потенциальной опасности, вызванной воздействием внешних факторов и деятельностью человека, которая приводит к возникновению негативных последствий.