

метана должно резко снижаться. Если после обрушения объем метановыделения не снижается, то это свидетельствует о неэффективной работе системы дегазации, т.е. объем поступающего в лаву метана больше, чем производительность всех средств дегазации, как это было в сентябре 2008 г. (рисунок 4б).

Объемы метановыделения по лаве 64К-10В (таблица 3) следует считать минимальными, так как методика расчета не учитывает тот объем метана, который мигрирует (уходит) через выработанные пространства и пустоты ранее отработанных участков по

Таблица 3 – Анализ объемов метановыделения во взаимосвязи с шагами обрушения по лаве 64К-10В

№	Дата обрушения	Фактическое расстояние от целика монтажной камеры, м	Прогноз объема метана, тыс. м ³	Фактический объем метана, тыс. м ³
Шахта «Саранская», лавы 64К-10В				
1	21.08.2008 г.	60,0	1273,9	370,3
2	28-29.08.2008 г.	82,0-84,0	1979,8	808,1
3	06-07.09.2008 г.	104,0-107,0	2775,7	1509,5
4	17.09.2008 г.	132,5	3935,3	2486,4
5	01.10.2008 г.	159,0-161,0	5210,3	3734,5
6	10.10.2008 г.	187,0	6672,7	4624,1
7	21.10.2008 г.	205,0	7538,2	5638,2
8	29.10.2008 г.	223,5	8418,8	6477,3

пластам К12 (лава 45К-12-1-3) и К14, заполняя их (это не менее 30 % от общего объема). Именно отсюда метан, как более легкий газ, попадает через незаделанные ограждающие перемычки пласта К14 в исходящие струи всех четырех действующих вентиляционных стволов шахты. В связи с этим необходимо правильно вести подсчет газообильности сначала по всей шахте, затем вычитать из конечного результата среднюю газообильность всех действующих подготовительных забоев, где эта величина не превышает 2-5 м³/мин. Расчет участковой газообильно-

сти по предложенной методике будет более точно соответствовать действительности.

Решение перечисленных задач актуально на всех стадиях освоения угольного месторождения: при проектировании, строительстве и эксплуатации шахты. Использование данной методики позволит достичь максимального экономического эффекта, а главное, – обеспечить безопасность за счет объективного прогноза газовой выделенности и знания времени и места опасных периодов, связанных с обрушением основной кровли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пак Г.А., Долгонос В.Н. Расчет шагов обрушения основной кровли и газовой выделенности на шахтах Карагандинского бассейна // Новости науки Казахстана / НЦНТИ. Алматы: 2009. № 2. С. 43-49.
2. Пак Г.А., Долгонос В.Н. Проверка достоверности прогноза шагов обрушения основной кровли по лаве 64К-10В на шахте «Саранская» // Геология и охрана недр. Алматы, 2009. № 3(32). С. 79-80.
3. Шпаков П.С., Пак Г.А., Долгонос В.Н. Взаимосвязь шагов обрушения основной кровли и интенсивности газовой выделенности на шахтах «Сокурская» и «Саранская» Карагандинского бассейна // Научно-технический и производственный журнал «Маркшейдерия и недропользование». М., 2009. № 6. С. 70-72.
4. Методика расчета шагов обрушения основной кровли и прогноз газовой выделенности на шахтах Карагандинского бассейна // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 10. С. 31-34.
5. Правила безопасности в угольных и сланцевых шахтах. М.: Недра, 1973. 512 с.

УДК 622.411.332 (574.31)

Динамика изменения концентрации метана в куполах большого объёма

Ж.Г. ЛЕВИЦКИЙ, д.т.н., профессор,

Карагандинский государственный технический университет

Ключевые слова: горные выработки, диффузия, метан, концентрация, уравнение диффузии, ряды Фурье.

Практика ведения горных работ показывает, что в процессе проходки подготовительных выработок в результате вывалов или обрушений кровли образуются пустоты различной формы, высоты и объёма. В газовых шахтах подобного рода пустоты являются местами скопления метана и представляют повышенную опасность. В результате резкого падения атмо-

сферного барометрического давления или значительного увеличения скорости движения воздуха в выработках возможен выброс метана большой концентрации в вентиляционную систему шахты.

Вынос метана из куполов небольших размеров в обычных условиях ($\leq 0,5$ м по высоте) осуществляется в основном за счёт действия свободных турбулентных

струй. Динамика изменения средней концентрации метана в таких местах достаточно хорошо описывается уравнением турбулентной диффузии для камерообразных выработок [1]. Однако для куполов большой высоты и объёма такой подход к решению задачи мало приемлем, поскольку концентрация газа может существенно меняться по высоте.

Интенсивность метановыделения с единицы обнажения поверхности пласта для условий Карагандинского бассейна определяется по формуле [2]

$$q = \frac{1}{n} q_0 t^n, \quad (1)$$

где q – метановыделение 1 м² поверхности обнажения пласта, м³/м²;

q_0 – интенсивность газовой выделение в первый момент обнажения, м³/м²·сутки;

n – коэффициент, учитывающий темп снижения метановыделения во времени.

Начальная интенсивность выделения метана q_0 с единицы площади обнажения пласта, а также темп снижения метановыделения n определяются по формулам:

$$\begin{aligned} q_0 &= a(X - X_0); \\ n &= c - d \cdot \lg(X - X_0), \end{aligned}$$

где X – природная метаноносность пласта, м³/Т;

X_0 – остаточная метаноносность угля, м³/Т;

a, c, d – коэффициенты, зависящие от свойств угольных пластов.

С учётом (1) распределение концентрации по высоте куполов можно описать уравнением диффузии для непостоянного во времени источника газовой выделение

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} + \frac{S}{nV} q_0 t^n, \quad (2)$$

$$c(x, 0) = c_0; \quad 0 \leq x \leq H,$$

$$c(0, t) = c;$$

$$c(H, t) = \frac{S}{nQ} q_0 t^n, \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} t > 0,$$

где S – площадь поверхности купола, м²;

Q – количество воздуха, поступающего в купол, м³/с;

D_x – коэффициент диффузии;

H – высота купола, м;

x – текущая координата высоты, м;

c_0 – начальная концентрация метана в куполе, %;

c – концентрация метана в куполе, %;

t – время от начала образования купола;

V – объём купола, м³.

Уравнение (2) неоднородное с неоднородными граничными условиями. Введём новую переменную

$$v(x, t) = c(x, t) - c - \frac{x \left(\frac{S}{nQ} q_0 t^n - c \right)}{H}, \quad (3)$$

которая удовлетворяет следующим начальным и граничным условиям:

$$v(x, 0) = c_0 - c + \frac{xc}{H},$$

$$v(0, t) = 0, \quad (4)$$

$$v(H, t) = 0.$$

С учетом (3) уравнение (2) преобразуется к виду

$$\frac{\partial v}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + S q_0 t^n \left(\frac{1}{nV} - \frac{x}{tQH} \right). \quad (5)$$

Ищем решение уравнения (5) в виде суммы тригонометрического ряда

$$v(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} T_m \sin \frac{\pi mx}{H}. \quad (6)$$

Разложим в ряд Фурье по синусам свободный член в уравнении (5).

$$S q_0 t^n \left(\frac{1}{nV} - \frac{x}{tQH} \right) = \sum_{m=1}^{\infty} b_m \sin \frac{\pi mx}{H} dx,$$

где

$$\begin{aligned} b_m &= \frac{2}{H} \int_0^H S q_0 t^n \left(\frac{1}{nV} - \frac{x}{tQH} \right) \sin \frac{\pi mx}{H} dx = \\ &= \frac{4}{\pi n m V} S q_0 t^n \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \frac{2}{\pi m t Q} S q_0 t^n \cos \pi m. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} S q_0 t^n \left(\frac{1}{nV} - \frac{x}{tQH} \right) &= \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{4}{\pi n m V} S q_0 t^n \times \right. \\ &\times \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \left. \frac{2}{\pi m t Q} S q_0 t^n \cos \pi m \right) \sin \frac{\pi mx}{H}. \end{aligned} \quad (7)$$

Продифференцировав (6) по t и два раза по x , получим

$$v_t = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{dT_m}{dt} \sin \frac{\pi mx}{H}, \quad (8)$$

$$v_{xx} = - \sum_{m=1}^{\infty} T_m \sin \frac{\pi mx}{H} \cdot \frac{\pi^2 m^2}{H^2}. \quad (9)$$

Подставим (7), (8) и (9) в уравнение (5)

$$\begin{aligned} \sum_{m=1}^{\infty} \frac{dT_m}{dt} \sin \frac{\pi mx}{H} + \sum_{m=1}^{\infty} D_x T_m \frac{\pi^2 m^2}{H^2} \sin \frac{\pi mx}{H} &= \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{4}{\pi n m V} \times \right. \\ &\times S q_0 t^n \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \left. \frac{2}{\pi m t Q} S q_0 t^n \cos \pi m \right) \sin \frac{\pi mx}{H}. \end{aligned}$$

Сумма слагаемых в левой части полученного уравнения будет равна соответствующему выражению в правой части только в том случае, если коэффициенты при синусах будут равны, т.е.

$$\begin{aligned} \frac{dT_m}{dt} + D_x T_m \frac{\pi^2 m^2}{H^2} &= \frac{4}{\pi n m V} S q_0 t^n \times \\ &\times \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \frac{2}{\pi m t Q} S q_0 t^n \cos \pi m. \end{aligned} \quad (10)$$

Обозначим

$$A = D_x \frac{\pi^2 m^2}{H^2};$$

$$B = \frac{2}{\pi m} S q_0 t^n \left(\frac{2}{nV} \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \frac{1}{tQ} \cos \pi m \right)$$

и запишем уравнение (10) в следующем виде:

$$\frac{dT_m}{dt} = -T_m A + B. \quad (11)$$

После разделения переменных и интегрирования получим

$$\frac{1}{A} \ln |AT_m - B| = -t + \frac{1}{A} \ln C.$$

Откуда следует

$$AT_m - B = Ce^{-At}. \quad (12)$$

Определим начальные условия для T_m . Из (6) при $t = 0$ следует

$$v(x, 0) = \sum_{m=1}^{\infty} T_m(0) \sin \frac{\pi mx}{H}. \quad (13)$$

Разложим в (4) значение $v(x, 0)$ в ряд Фурье по синусам, получим

$$v(x, 0) = \sum_{m=1}^{\infty} b_m \sin \frac{\pi mx}{H}. \quad (14)$$

Сравнивая (13) с (14), приходим к выводу, что

$$T_m(0) = b_m, \text{ где } b_m = \frac{2}{H} \int_0^L v(x, 0) \sin \frac{\pi mx}{H} dx.$$

Подставляя вместо $v(x, 0)$ его значение из (4), получим

$$\begin{aligned} T_m(0) &= \frac{2}{H} \int_0^L \left(c_0 - c + \frac{x}{H} c \right) \sin \frac{\pi mx}{H} dx = \\ &= \frac{4(c_0 - c)}{\pi m} \sin^2 \frac{\pi m}{2} - \frac{2c}{\pi m} \cos \pi m. \end{aligned} \quad (15)$$

При $t = 0$ значение константы C определяется из уравнения (12)

$$C = AT_{mc}(0) - B.$$

Произведя обратную подстановку, получим

$$T_m = \frac{1}{A} \{ [AT_m(0) - B] e^{-At} + B \}.$$

Подставляя полученное выражение в (6), находим решение уравнения (5)

$$v(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{A} \{ [AT_m(0) - B] e^{-At} + B \} \sin \frac{\pi mx}{H}. \quad (16)$$

Совершая обратный переход, согласно (3) получим решение уравнения (2)

$$c(x, t) = v(x, t) + c + \frac{x}{H} \left(\frac{Sq_0 t^n}{nQ} - c \right).$$

Произведя все замены, получим

$$\begin{aligned} c(x, t) &= c + \frac{x}{H} \left(\frac{Sq_0 t^n}{nQ} - c \right) + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{H^2}{\pi^2 m^2 D_x} \left\{ \left[\frac{\pi^2 m^2 D_x^2}{H^2} \times \right. \right. \\ &\times \left. \left(\frac{4(c_0 - c)}{\pi m} \sin^2 \frac{\pi m}{2} - \frac{2c}{\pi m} \cos \pi m \right) - \frac{2}{\pi m} Sq_0 t^n \times \right. \\ &\times \left. \left. \left(\frac{2}{nV} \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \frac{1}{tQ} \cos \pi m \right) \right] e^{-D_x \frac{\pi^2 m^2}{H^2} t} + \frac{2}{\pi m} Sq_0 t^n \times \right. \\ &\times \left. \left. \left(\frac{2}{nV} \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \frac{1}{tQ} \cos \pi m \right) \right\} \sin \frac{\pi mx}{H}. \end{aligned} \quad (17)$$

В полученном выражении допустимая точность

расчётов ($\pm 5\%$) обеспечивается при значении $m \geq 10$. Как показал анализ, численное значение выражения в квадратных скобках, умноженное на экспоненту, невелико и не оказывает существенного влияния на требуемую точность расчётов и им можно пренебречь.

С учётом сказанного, приходим к следующей зависимости распределения концентрации метана по высоте куполов большого объёма:

$$\begin{aligned} c(x, t) &= c + \frac{x}{H} \left(\frac{Sq_0 t^n}{nQ} - c \right) + \sum_{m=1}^{\infty} \frac{H^2}{\pi^2 m^2 D_x} \times \\ &\times \left[\frac{2Sq_0 t^n}{\pi m} \left(\frac{2}{nV} \sin^2 \frac{\pi m}{2} + \frac{1}{tQ} \cos \pi m \right) \right] \sin \frac{\pi mx}{H}. \end{aligned} \quad (18)$$

Количество воздуха Q , которое может попасть в купол, определяется из условия распространения свободной струи в ограниченном пространстве. По данным исследований [3]

$$Q = 0,154 y b u_{cp}, \quad (19)$$

где u_{cp} – скорость движения воздуха под кровлей, м/с;
 y – длина купола в направлении движения воздушного потока, м;
 b – ширина выработки по кровле, м.

Величина граничной скорости определяется из выражения [4]

$$u_{cp} = u_{cp} \left(1 - 1,35 \sqrt{\frac{\alpha}{\alpha_1}} \right), \quad (20)$$

где u_{cp} – средняя скорость движения воздушного потока в выработке, м/с;
 α – коэффициент аэродинамического сопротивления

выработки;

α_1 – коэффициент структуры воздушной струи, равный 0,0032 – 0,0038.

По данным исследований К.З. Ушакова, коэффициент турбулентной диффузии D_x для горных выработок может быть принят равным $5 \cdot 10^{-3}$ м²/с [5].

Анализ выражения (18) показывает, что концентрация метана в куполах большой высоты нарастает неравномерно. На участках, прилегающих к контуру выработки, идёт плавное её увеличение, а в верхних точках купола концентрация метана резко увеличивается и может достигать 100 %. Таким образом, полученная зависимость даёт возможность оценить распределение концентрации метана в куполах больших объёмов с различным сроком их существования, образующихся при проведении подготовительных выработок, или в иных местах на газоопасных направлениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гращенко Н. Ф., Левицкий Ж. Г. Динамика скопления метана в малых куполах подготовительных выработок // Тр. ун-та / КарГТУ. Караганда, 2005. № 4. С. 28 – 30.
2. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Алматы, 1997. 258 с.
3. Никитин В. С., Битколов Н. З. Проветривание карьеров. М.: Недра, 1975.
4. Воронин В. Н. Основы рудничной аэрогазодинамики. М.: Углетехиздат, 1951. 491 с.
5. Ушаков К. З. Газовая динамика шахт. М.: Недра, 1984. 248 с.

УДК 331.45 (574)

Преимущества от внедрения систем менеджмента охраны труда на предприятиях Республики Казахстан

*М.Р. СИХИМБАЕВ, д.э.н., профессор кафедры ТМ,
 Н.С. СТАРЫХ, магистрант кафедры ТМ,
 Карагандинский государственный технический университет*

Ключевые слова: система менеджмента охраны труда, условия охраны труда, управление рисками, международный стандарт OHSAS, мониторинг рисков.

Весьма существенен в настоящее время вопрос, как «приучить» компании к качественной организации охраны труда своих сотрудников. К сожалению, руководители многих предприятий очень часто не несут ответственность за здоровье своих сотрудников. По этой причине мероприятия по охране труда выполняются для «галочки», чтобы продемонстрировать проверяющему инспектору, что компания следит за охраной труда. А между тем положение остаётся плачевным: финансирование работ по охране труда осуществляется по остаточному принципу, а многие несчастные случаи, вследствие несоблюдения правил, скрываются в угоду статистике. Для предприятий, более 80 % которых уже выработали свой ресурс, решение таких вопросов на качественном уровне как никогда актуально. Разумеется, работа на изношенном оборудовании влечёт за собой повышенную аварийность, которая сопровождается несчастными случаями. Для работника это оборачивается травмами различной

степени тяжести, для работодателя – убытками [1].

Всё это делает решение вопросов охраны труда первоочередным для эффективного функционирования и развития предприятия. При решении данных задач на предприятии можно получить следующие преимущества.

– Определённая степень защищённости руководителя. Заботясь об охране труда на производстве, руководитель может быть уверен в том, что завтра или послезавтра работу его предприятия не остановит инспектор, а в прокуратуре не будет заведено на него уголовное дело.

– Персонал предприятия приобретает уверенность в том, что он работает в комфортных, а главное – в безопасных условиях на предприятии, где выполнены все требования по охране труда. Следовательно работник может быть полностью уверен в том, что если с ним на производстве произойдет несчастный случай и он получит травму, то сам работник и его семья