

# Повышение эффективности противопожарной защиты тупиковых горных выработок

Одним из перспективных направлений повышения эффективности противопожарной защиты тупиковых выработок является создание легко переносимых автономных автоматических устройств, которые подавали бы порошок непосредственно в призабойное пространство.

## Effectiveness improving of fire protection of mine cul-de-sac

One of the prospective ways of effectiveness increasing of fire protection is the invention of easily portable self-contained automatic devices that would feed to the powder directly into the near bottom hole area.

**С.А. Алексеенко**, доцент кафедры аэрологии и охраны труда Национального горного университета, г. Днепропетровск, Украина, к. т. н.  
**А.А. Пилипенко**, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института горноспасательного дела и пожарной безопасности (НИИГД «Респиратор»), г. Донецк, Украина

**S.A. Alekseenko**, Assistant Professor of aerology and labor security Chair of the National Mining University, Dnepropetrovsk, Ukraine, PhD.  
**A.A. Pilipenko**, Senior Fellow at the Research Institute Mine Rescue Affair (NIIGD «Respirator»), Donetsk, Ukraine

Эти устройства должны размещаться на определенном расстоянии от забоя с целью сохранения их от осколков горной массы при взрывных работах и находиться в постоянной готовности к срабатыванию в случае возникновения пожара (рис. 1).

Для определения места расположения огнетушителя в тупиковой выработке необходимо найти область максимального нарастания температуры при пожаре в забое.

Экспериментальные исследования температурного поля в призабойной тупиковой выработке при горении метана позволили сделать следующие выводы: максимальное нарастание температуры происходит в верхней части выработки у стенки, на которой нет вентиляционного трубопровода; когда скорость проветривания тупика сечением 10 м<sup>2</sup> равна 1 м/с и метановыделение 1 м<sup>3</sup>/мин температура в указанной части выработки в 10 м от забоя уже через 1,5 мин после начала горения достигает 90–100°С, что обеспечивает срабатывание теплового замка.

Огнетушитель должен располагаться в тупиковой выработке таким обра-

зом, чтобы при его срабатывании порошковая струя попадала бы в поток воздуха, выходящий из вентиляционного трубопровода. При этом происходит дополнительное распыление порошка, что обеспечивает создание огнетушащей концентрации и объемное тушение пожара в забое. Расположение огнетушителя в тупиковой выработке показано на рис. 2.

Целью работы является определение условий создания огнетушителей концентрации в призабойном пространстве выработки, то есть определение интенсивности и времени подачи порошка. При решении этой задачи считаем, что режим течения воздушно-порошковой смеси в призабойном пространстве турбулентный, а тонкодисперсный порошок равномерно распределяется по объему.

Концентрация порошковой смеси есть функция времени

$$\mu = \mu(t). \quad (1)$$

Рассмотрим, как изменится количество порошка в призабойном пространстве в единицу времени. Количество порошка  $G_I$ , кг/с, которое вносится воздухом, равно (количеством воздуха, поступающего из огнетушащего устройства вместе с порошком, пренебрегаем)

$$G_I = Q \cdot \mu_0, \quad (2)$$

где  $Q$  – расход воздуха из вентиляционного трубопровода, м<sup>3</sup>/с;

$\mu_0$  – концентрация воздушно-порошковой смеси у выхода из вентиляционного трубопровода, кг/м<sup>3</sup>.

Этой же струей часть порошка выносится из призабойного пространства. Вынос порошка производится ядром постоянной массы струи, куда частицы порошка попадают за счет турбулентной диффузии. Если концентрация смеси в призабойном пространстве в данный момент времени равна  $\mu(t)$ , то струей воздуха в единицу времени вы-

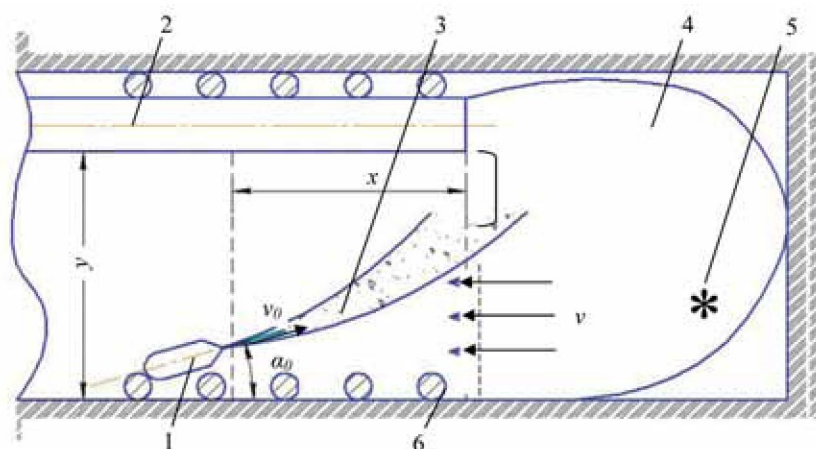


Рис. 1. Схема расположения огнетушителя в тупиковом забое:

1 – огнетушитель; 2 – вентиляционный трубопровод; 3 – струя порошка; 4 – вентиляционный поток; 5 – очаг пожара; 6 – стойка



Рис. 2. Расположение огнетушителя в тупиковой горной выработке

носятся количество порошка,  $G_2$ , кг/с, равное

$$G_2 = Q \mu k_1 \quad (3)$$

где  $k_1$  – коэффициент турбулентной диффузии двухфазной затопленной струи.

Согласно [1] коэффициент турбулентной диффузии равен

$$k_1 = k + (1 - k) \mu_0 / \mu, \quad (4)$$

где  $k$  – коэффициент турбулентной диффузии свободной воздушной струи.

Концентрация смеси в призабойном пространстве уменьшается также за счет осаждения и налипания частиц порошка на поверхности выработки.

Согласно [2] количество порошка  $G_3$ , кг/с, осаждающего на почве, стенках и кровле выработки в единицу времени, определяется выражением

$$G_3 = S_B \cdot \mu \cdot v \cdot M, \quad (5)$$

где  $S_B$  – площадь поверхности призабойного пространства выработки,  $m^2$ ;

$\mu$  – средняя концентрация порошка в выработке в данный момент времени,  $кг/м^3$ ;

$M$  – вероятность прилипания частицы порошка;

$v$  – средняя скорость набегания ча-

стиц порошка на поверхность выработки,  $м/с$ .

Так как скорость  $v$  пропорциональна средней скорости потока, то выражение (5) можно представить в следующем виде:

$$G_3 = \varphi S_B \mu v_0 M \quad (6)$$

или

$$G_3 = \varphi \frac{S_B}{S_0} \mu Q M, \quad (7)$$

где  $\varphi$  – отношение средней скорости набегания потока на стенку к средней скорости потока в начальном сечении струи;

$S_0 = \pi d^2 / 4$  – площадь выходного сечения струи,  $m^2$ ;

$d$  – диаметр вентиляционного трубопровода,  $м$ .

Составим уравнение баланса масс. За время  $dt$  в призабойное пространство поступает количество порошка, равное  $G_1 \cdot dt$ , а из него выносятся и оседает  $(G_2 + G_3)dt$ . Предположим, что за это время в объеме призабойного пространства создается избыток порошка, равный  $Vd\mu$ , то есть

$$Vd\mu = (G_1 - G_2 - G_3)dt, \quad (8)$$

где  $V = S_B \cdot l$  – объем призабойного пространства,  $м^3$ ;

$l$  – длина призабойного пространства (от конца вентиляционного трубопровода до груди забоя),  $м$ .

Решение уравнения (8) позволит определить минимальную интенсивность и время подачи порошка в тупиковую выработку, необходимые для создания огнетушителей концентрации смеси. Используя выражения (4)–(7), представим уравнение (8) в виде

$$[Qk\mu + (1 - k)Q\mu_0]dt + \varphi \frac{S_B}{S_0} \mu Q M dt - Q\mu_0 dt = Vd\mu$$

или

$$\frac{d\mu}{dt} = \frac{Q}{V} [k\mu_0 - \mu(k + \varphi M S_B / S_0)]. \quad (9)$$

Предполагая, что все частицы, попавшие на поверхность выработки, остаются на ней, находим  $M = 1$ . Осевая скорость в круглой свободной струе определяется согласно [4] выражением

$$v/v_0 = 0,96 / (a l / R_0 + 0,29), \quad (10)$$

где  $a$  – коэффициент, выражающий влияние структуры потока на угол расширения струи, величина которого определяется экспериментально и изменяется от 0,0066 для потоков с малой турбулентностью до 0,27 для потоков за турбулизирующей решеткой;

$R_0$  – радиус начального сечения струи,  $м$ .

Принимая во внимание значительное расстояние вентиляционных труб от груди забоя, большую турбулентность

потока, а также тот факт, что  $l/d > 10$ , имеем

$$v \cong 0,48 V_0 d / dl. \quad (11)$$

Отсюда

$$\varphi \cong 0,43 d / dl. \quad (12)$$

Тогда решение уравнения (9) имеет вид:

$$\mu(t) = \mu_0 \frac{k}{k_H} \left( 1 - e^{-\frac{Qk_H t}{S_B l}} \right), \quad (13)$$

где

$$k_H = k + \frac{1,92 S_B}{\pi a l d} \cong k + 0,2. \quad (14)$$

Из анализа уравнения (13) следует, что при  $t = 0$ ,  $\mu(0) = 0$ ;  $t \rightarrow \infty$ ,  $\mu(\infty) \rightarrow \mu_0$ .

Таким образом, концентрация  $\mu_0$  яв-

ляется предельно достижимой в объеме призабойного пространства. Следовательно, при  $\mu_0 \leq \mu_{огн}$ , задача решения не имеет ( $\mu_{огн}$  – огнетушащая концентрация порошка в призабойном пространстве). Из уравнения (13) для времени имеем

$$t = -\frac{S_B l}{Q k_H} \ln \left( 1 - \frac{k_H \mu}{k \mu_0} \right). \quad (15)$$

Время, за которое концентрация воздушно-порошковой смеси в призабойном пространстве выработки станет равной огнетушащей, определяется выражением

$$\tau = \frac{S_B l}{Q k_H} \ln \left( 1 - \frac{k_H \mu_{огн}}{k \mu_0} \right). \quad (16)$$

Отсюда, следует, что концентрация воздушно-порошковой смеси у торцевой части вентиляционного трубопровода должна быть больше величины

$$\frac{k_H \mu_{огн}}{k}, \text{ то есть}$$

$$\mu_0 > \frac{k_H \mu_{огн}}{k}. \quad (17)$$

Исходя из полученных зависимостей, можно определить параметры огнетушащего устройства: расход порошка и необходимое время работы.

Так как  $\mu_0 = m/Q$ , где  $m$  – расход порошка ( $\text{м}^3/\text{с}$ ), то его количество  $M_0$  ( $\text{м}^3$ ) в огнетушителе равно

$$M_0 = mT = T \mu_0 Q = \mu_{огн} \frac{k_H}{k} QT, \quad (18)$$

$$T = \frac{S_B l}{Q k_H} \ln \left( 1 - \frac{k_H \mu_{огн}}{k \mu_0} \right) + t_k, \quad (19)$$

где  $T$  – общее время работы огнетушителя;

$t_k$  – время, необходимое для поддержания огнетушащей концентрации в защищаемом объеме, равное 30 с.

На порошковую струю, выходящую из огнетушителя, действует вентиляционный поток воздуха и пожарных газов. Для определения траектории струи решена следующая задача.

В тупиковую выработку, по которой течет газ плотностью  $\rho$  ( $\text{кг}/\text{м}^3$ ) со скоростью  $\omega$  ( $\text{м}/\text{с}$ ), подается порошковая струя плотностью  $\rho_{ом}$  со скоростью  $v_0$  и под углом  $\alpha_0$  к стенке выработки. Траектория струи определяется по уравнению:

$$\ln \left| 1 + \frac{\beta_x}{2d_0} \right| = \ln \left| 1 + \beta \cdot ctg \alpha_0 \sqrt{2\pi} \cdot \Phi \left[ \frac{\beta c_\rho \omega^2 y^2}{\rho_{ом} v_0^2 \cdot \pi d_0^2 \sin \alpha_0} \right] - C \beta \rho \omega^2 y^2 (2 \rho_{ом} v_0^2 \cdot \pi d_0^2 \sin \alpha_0) \right], \quad (20)$$



где  $\beta$  – коэффициент расширения струи;  
 $d_0$  – диаметр сопла огнетушителя, м;  
 $\Phi$  – функция Лапласа;  
 $C$  – коэффициент сопротивления струи исходящему потоку;  
 $y$  – расстояние между стенками выработки, м.

По уравнению (10) в зависимости от скорости струи  $v_0$  и угла  $\alpha_0$  определяется необходимое расстояние  $x$  между огнетушителем и концом вентиляционного трубопровода (см. рис. 1), при котором порошковая струя попадает в поток воздуха, выходящий из трубопровода. Расстояние между огнетушителем и забоем для обеспечения безопасности при взрывных работах может быть увеличено от  $l_{эф}$  до  $L_{вент} + x$ , где  $l_{эф}$  – эффективная длина порошковой струи, м;  $L_{вент}$  – расстояние между вентиляционным трубопроводом и забоем, м.

Расчеты показывают, что в призабойном пространстве тупиковой выработки длиной 20 м и сечением 5  $\text{м}^2$  при подаче порошка с интенсивностью 0,5  $\text{кг}/\text{с}$  его огнетушащая концентрация 0,2  $\text{кг}/\text{м}^3$  создается через 15 с, а общее время работы огнетушителя массой 20 кг порошка составляет 40 с.

## Выводы

1. Для определения огнетушащей концентрации порошка получено и решено уравнение баланса масс с учетом поступающего в призабойное пространство, выносимого из него, осаждение и прилипание на поверхности тупиковой выработки.

2. В частности, в призабойном пространстве объемом 100  $\text{м}^3$  при времени работы 40 с автоматического огнетушителя массой 20 кг подача огнетушащей концентрации порошка создается в течение 15 с. [18]