

© М.М. Конорев, Г.Ф. Нестеренко,
2002

УДК 622.458

М.М. Конорев, Г.Ф. Нестеренко

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОЦЕССОВ
ФОРМИРОВАНИЯ И ПОДЪЕМА
ПЫЛЕГАЗОВОГО ОБЛАКА ПРИ МАССОВЫХ
ВЗРЫВАХ В КАРЬЕРАХ

При расчетах количества вредных газовых выбросов следует учитывать, что в пылегазовое облако (ПГО) попадает лишь часть взрывных газов, поскольку взорванная горная масса является своеобразным задерживающим и фильтрующим слоем. С достаточной для практики степенью точности пропускная эффективность этого «фильтра» может быть определена по формуле:

$$\varpi_{\text{пр}} = \frac{\Delta V}{V_1} = \frac{(k_p - 1)V_{\text{бл}}^0}{k_p V_{\text{бл}}^0} = \left(1 - \frac{1}{k_p}\right), \quad (1)$$

где ΔV – изменение объема взорванного блока, м^3 ; V_1 – объем взорванной горной массы, м^3 ; $V_{\text{бл}}^0$ – объем блока, подготовленного к взрыву, м^3 ; k_p – коэффициент разрыхления.

По классификации В.В. Ржевского [1], значения $k_{p\text{max}} = 1,4-1,5$ для пород I – II категорий, а для пород III – V категорий $k_{p\text{max}} = 1,2-1,3$.

Для определения объема газов, выделяющихся в результате вторичного выброса – с момента развала купола взорванной горной массы до выравнивания давления взрывных газов до атмосферного, необходимо учесть объем газов, оставшихся после первичного выброса:

$$V_{\text{н1}} = \frac{1}{k_p} V_{\text{Г}}. \quad (2)$$

С учетом вероятности проникновения газов находим объем газов, выделяющихся в ПГО при вторичном выбросе:

$$V_{\text{н2}} = \left(1 - \frac{1}{k_p}\right) \frac{1}{k_p} V_{\text{Г}}. \quad (3)$$

Суммарный объем газов, проникающих в ПГО, составит:

$$V_{\text{н}} = V_{\text{н1}} + V_{\text{н2}} = \left(1 - \frac{1}{k_p^2}\right) V_{\text{Г}}. \quad (4)$$

Для пород I–II категорий суммарный объем газов, выброшенных в ПГО, составляет (49–56)%, а для пород III–V категорий (31–41)%.

Начальные параметры ПГО: объем газов ($V_{\text{Г}}$), объем газов, проникающих в ПГО ($V_{\text{н}}$), начальный температурный перегрев $\delta_0 T_i$, – определяются на основе II начала термодинамики – максимального возрастания энтропии системы «взрывные газы – окружающая среда» при ее переходе в состояние равновесия.

В частности, объем газов $V_{\text{Г}}$ определяется по формуле [2]:

$$V_{\text{Г}} = \frac{M_3}{\rho_3} \ln \frac{H}{n_m}, \quad (5)$$

где M_3 – масса взрывчатых веществ (ВВ), кг; ρ_3 – плотность ВВ, $\text{кг}/\text{м}^3$;

$$H = \frac{\rho_3 R T_{\text{ц}}}{\rho_w R T_0} \text{ – относительное давле-}$$

ние в момент взрыва; R – универсальная газовая постоянная, $\text{дж}/\text{кг К}$; $T_{\text{ц}}$ – температура цепной реакции, К; T_0 – температура воздуха в зоне

взрыва, К; n_m – коэффициент политропы, соответствующий максимальному возрастанию энтропии системы «взрывные газы – окружающая среда» при переходе в состояние равновесия.

Температура ПГО в момент выравнивания давления взрывных газов до атмосферного определяется по формуле [2]:

$$T_{i0} = T_{\text{ц}} \exp \left[\frac{(1 - n_m)}{n_m} \ln H \right]. \quad (6)$$

После подстановки значения $V_{\text{Г}}$ в формулу 4 определяется объем газов, проникающих в ПГО ($V_{\text{н}}$), и начальный радиус облака (R_{i0}):

$$R_{i0} = \sqrt[3]{\frac{3V_{\text{н}}}{4\pi}}. \quad (7)$$

После выравнивания давления взрывных газов до атмосферного начинается динамический этап – подъем и развитие ПГО, параметры которого рассчитываются на основе I начала термодинамики и уравнений Мещерского (движение тел с переменной массой) с учетом эффекта смешения. Система уравнений включает [2, 3]:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dT_i}{dz} + \alpha T_i &= -\gamma_a + \alpha(T_0 - \gamma z) \end{aligned} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dW_i^2}{dz} + 2\alpha W_i^2 &= 2\beta \delta T_i \end{aligned} \right. \quad (9)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha &= \frac{3}{z + z_*}, \quad R_i = R_{i0} + 0,2z_*, \quad z_* = 5R_{i0} \end{aligned} \right. \quad (10)$$

где γ_a – сухоадиабатический градиент температуры воздуха, $\text{К}/\text{м}$ ($\gamma_a \approx 0,01 \text{ К}/\text{м}$); R_{i0} – начальный радиус ПГО, м; α – коэффициент вовлечения окружающего воздуха в ПГО, м^{-1} ; $\beta = g/T$ – параметр плавучести, $\text{м}/\text{с}^2 \text{ К}$; g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$; T – средняя температура в атмосфере карьера, К; W_i – скорость подъема ПГО, $\text{м}/\text{с}$; γ – температурный градиент в атмосфере карьера, $\text{К}/\text{м}$; $\delta_0 T_i = (T_{i0} - T_0)$ – начальный температурный перегрев ПГО, К; T_0 – температура воздуха в месте взрыва, К.

Однородные линейные уравнения с правой частью системы (8–10) решаются путем замены переменной z на $y = 1 + z/z_*$.

Система уравнений (8–10) приобретает вид:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dT_i}{dy} + \frac{3T_i}{y} &= -\gamma z_* + \frac{3}{y} [T_0 - \gamma z_* (y-1)] \end{aligned} \right. \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dW_i^2}{dy} + \frac{6W_i^2}{y} &= 2\beta z_* \delta T_i \end{aligned} \right. \quad (12)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha &= \frac{3}{z_* y}, \quad R_i = R_{i0} y \end{aligned} \right. \quad (13)$$

Первое уравнение преобразованной системы решается следующим образом. Примем $T_i = uv$ и

$$\{ -\gamma a z_x + \frac{3}{y} [T_0 - \gamma z_x (y-1)] = Q(y) \},$$

$$\text{тогда } \frac{dT_i}{dy} = u \frac{dv}{dy} + v \frac{du}{dy}.$$

Уравнение 12 приобретает вид:

$$u \left(\frac{dv}{dy} + \frac{3v}{y} \right) + v \frac{du}{dy} = Q(y). \quad (14)$$

Подберем такое решение, что $\frac{dv}{dy} + \frac{3v}{y} = 0$, из которого следует $v = y^{-3}$. Значение u определяется по уравнению:

$$v \frac{du}{dy} = Q(y). \quad (15)$$

$$u = \int \frac{Q(y)}{v} dy = -\frac{\gamma a z_*}{4} y^4 - \frac{3}{4} \gamma z_* y^4 + T_0 y^3 + \gamma z_* y^3. \quad (16)$$

$$T_i = [T_0 - \gamma z_* (y-1)] + \delta T_i = -\frac{\gamma a z_*}{4} y - \frac{3}{4} \gamma z_* y + \gamma z_* + c_1 y^{-3} \quad (17)$$

$$\text{При } z=0 \quad y=1 \quad T_{i0} = T_0 + \delta_0 T_i.$$

$$\text{Из уравнения 17 } c_1 = \delta_0 T_i + \frac{(\gamma a - \gamma)}{4} z_*.$$

Тогда изменение T_i температуры ПГО определится по формуле:

$$T_i = c_1 y^{-3} - y \frac{(\gamma a + 3\gamma)}{4} z_* + \gamma z_* = [T_0 - \gamma z_* (y-1)] + \delta T_i. \quad (18)$$

Изменение перегрева ПГО в процессе его подъема определится по формуле:

$$\delta T_i = C_1 y^{-3} - \frac{(\gamma a - \gamma)}{4} z_* y = C_1 y^{-3} - B_1 y, \quad (19)$$

$$\text{где } C_1 = \delta_0 T_i + \frac{(\gamma a - \gamma)}{4} z_* = \delta_0 T_i + \frac{a z_*}{4},$$

$$a = \gamma a - \gamma; B_1 = \frac{a z_*}{4}.$$

Из уравнения 19 определится уровень выравнивания температуры ПГО с атмосферной ($\delta T_i = 0$):

$$y_0 = \sqrt[4]{\frac{C_1}{B_1}} = \sqrt[4]{1 + \frac{4h}{z_*}}, \quad (20)$$

где $h = \frac{\delta_0 T_i}{a}$ – максимальный подъем ПГО в политропической атмосфере, м.

$$\text{Поскольку } y_0 = 1 + \frac{z_T}{z_*}, z_T = z_* \left(\sqrt[4]{1 + \frac{4h}{z_*}} - 1 \right). \quad (21)$$

Второе уравнение системы решается следующим образом:

$$W_i^2 = uv, \quad \frac{dW_i^2}{dy} = u \frac{dv}{dy} + v \frac{du}{dy},$$

$$Q(y) = 2\beta z_* \delta T_i, \quad (22)$$

$$u \left(\frac{dv}{dy} + \frac{3v}{y} \right) + v \frac{du}{dy} = Q(y).$$

В последнем уравнении подберем такое значение v , что

$$\frac{dv}{dy} + \frac{3v}{y} = 0, \text{ откуда } v = y^{-6}.$$

Значение u определится по формуле:

$$u = \int \frac{Q(y)}{v} dy = 2\beta z_* \int (C_1 y^{-3} - B_1 y) y^{-6} dy = \frac{\beta z_*}{2} y^4 \left(C_1 - \frac{B_1}{2} y^4 \right) \quad (23)$$

Значение скорости составит:

$$W_i^2 = \frac{\beta z_*}{2 y^2} \left(C_1 - \frac{B_1}{2} y^4 \right) + C_2 y^{-6} \quad (24)$$

Постоянная интегрирования C_2 определится из 24 при $y=1 \quad W_i=0$:

$$C_2 = -\frac{\beta z_*}{2} \left(C_1 - \frac{B_1}{2} \right). \text{ Поскольку из (20)}$$

$$C_1 = B_1 y_0^4, \text{ то } C_2 = -\frac{\beta z_*}{16} a (2 y_0^4 - 1)$$

Общее решение уравнения скорости подъема ПГО следующее:

$$W_i^2 = \frac{\beta z_*^2 a}{16 y^6} [y^4 (2 y_0^4 - y^4) - (2 y_0^4 - 1)]; \quad (25)$$

$$W_i = \frac{z_*}{4 y^3} \sqrt{[y^4 (2 y_0^4 - y^4) - (2 y_0^4 - 1)] a \beta}. \quad (26)$$

При $y=y_0$, на уровне выравнивания температуры, скорость подъема ПГО имеет максимальное значение:

$$W_{i\max}^2 = \frac{\beta a h^2}{y_0^6} = \frac{\beta a h^2}{\left(1 + \frac{4h}{z_*}\right)^{3/2}} \quad (27)$$

Правая часть уравнения 25 имеет два корня, при которых скорость подъема $W_i = 0$:

$$y_1^4 = 1 (z = 0) \quad \text{и} \quad y_2^4 = 2 y_0^4 - 1 = y_W^4 = 1 + \frac{8h}{z_*} (z = z_W).$$

Уровень конвекции (z_W), на котором ПГО останавливается и начинается его рассеяние, можно рассчитать по формуле:

$$z_W = z_* \left(\sqrt[4]{y_2^4 - 1} \right) = z_* \left(\sqrt[4]{1 + \frac{8h}{z_*}} - 1 \right). \quad (28)$$

Время подъема ПГО до любого уровня определится по формуле:

$$t = \int_0^z \frac{dz}{W_i} = z_* \int_{y=1}^y \frac{dy}{W_i} \quad (29)$$

После подстановки значения W_i из формулы 26 получим:

$$t = \frac{1}{\sqrt{a\beta}} \int_{y=1}^y \frac{dy^4}{\sqrt{y^4(2y_0^4 - y^4) - (2y_0^4 - 1)}} \quad (30)$$

Решение уравнения 30 производится путем преобразования подкоренного выражения и с помощью тригонометрической подстановки. В результате вычитания из левой части и прибавления к правой части значения y_0^8 подкоренное выражение приводится к виду:

$$(2y_0^4 y^4 - y^8 - y_0^8) + (1 - 2y_0^4 + y_0^8) = (y_0^4 - 1)^2 - (y_0^4 - y^4)^2 = (y_0^4 - 1)^2 \left[1 - \frac{(y_0^4 - y^4)^2}{(y_0^4 - 1)^2} \right] \quad (31)$$

В уравнении 31 производим тригонометрическую подстановку:

$$\left(\frac{y_0^4 - y^4}{y_0^4 - 1} \right)^2 = \sin^2 \varphi \quad (32)$$

В результате подкоренное выражение 31 приобретает вид:

$$(y_0^4 - 1)^2 (1 - \sin^2 \varphi) = (y_0^4 - 1)^2 \cos^2 \varphi \quad (33)$$

Из 32 определим:

$$y^4 = y_0^4 - (y_0^4 - 1) \sin^2 \varphi, \quad (34)$$

$$dy^4 = -(y_0^4 - 1) d \sin^2 \varphi = -(y_0^4 - 1) \cos \varphi d\varphi. \quad (35)$$

При подстановке 33 и 35 в 30 $(y_0^4 - 1)$ и $\cos \varphi$ взаимно уничтожаются, и в результате получим:

$$t = \frac{1}{\sqrt{a\beta}} \int d\varphi = \frac{\varphi}{\sqrt{a\beta}} \quad (36)$$

Значение φ определится из уравнения 32:

$$\varphi = \arcsin \frac{y_0^4 - y^4}{y_0^4 - 1} = \frac{y_0^4 - y^4}{y_0^4 - 1} \quad (37)$$

После подстановки значения φ в 36 окончательно получим:

$$t = \frac{1}{\sqrt{a\beta}} \left(\frac{y^4 - y_0^4}{(y_0^4 - 1)} \right) \quad (38)$$

Уравнение 38 можно упростить, если учесть, что $y_0^4 = 1 + \frac{4h}{z_*}$:

$$t = \frac{z_*}{4h\sqrt{a\beta}} (y^4 - y_0^4) \quad (39)$$

По формуле 39 можно определить время подъема ПГО до любого уровня. В частности, время подъема ПГО до уровня выравнивания температур составит:

$$t_{z_T} = \frac{1}{\sqrt{a\beta}} \quad (40)$$

Время подъема ПГО до предельного уровня конвекции составляет:

$$t_{z_W} = \frac{2}{\sqrt{a\beta}} \quad (41)$$

По приведенным формулам произведены расчеты при следующих условиях:

$T_u = 3000$ К; $\rho_3 = 750$ кг/м³; $k_p = 1,3$; $T_0 = 240$ К; $\gamma = 0,021$ К/м; $R = 287$ Дж/кгК; $\beta = g/T = 9,8/243 = 0,04$; $n_m = 1,46$.

В результате расчетов определены: начальный температурный перегрев ПГО $\delta_0 T_i = 14$ К, время подъема облака до уровня выравнивания температуры $t_{z_T} = 28,25$ с и до уровня конвекции $t_{z_W} = 56,5$ с.

Результаты расчетов параметров ПГО при массовых взрывах различной мощности приведены в таблице.

ПАРАМЕТРЫ ПГО ПРИ МАССОВЫХ ВЗРЫВАХ.

$M, \text{ т}$	100	400	600	800	1000
$V_r, \text{ м}^3 \cdot 10^3$	72,0	288,0	432,0	576,0	720,0
$V_n, \text{ м}^3 \cdot 10^3$	28,8	115,2	172,8	230,4	288,0
$R_{i0}, \text{ м}$	19,0	30,0	34,6	38,2	41,1
$z_*, \text{ м}$	95,0	150,0	173,0	191,0	205,5
$z_T, \text{ м}$	106,0	135,0	145,0	152,5	158,0
$z_W, \text{ м}$	142,4	186,0	201,0	212,5	221,1
$W_{imax}, \text{ м/с}$	1,68	2,31	2,55	2,73	2,92
$R_{z_T}, \text{ м}$	40,2	57,0	63,6	68,7	82,2
$R_{z_W}, \text{ м}$	47,5	67,2	74,6	80,7	85,3

Аналогичные расчеты можно выполнить при других условиях: $\gamma_a > \gamma \geq -0,05$ К/м; $k_p = 1,2-1,5$; $T_0 = (240-300)$ К; $\rho_3 = (750-1000)$ кг/м³, $T_u = (2500-3500)$ К.

К примеру, при прочих равных условиях, принятых при расчетах в таблице, но при изотермии в атмосфере карьера ($\gamma = 0$), уровень выравнивания температур (z_T) и конвекции (z_W) увеличиваются на (55-65)%, время достижения облаком этих уровней возрастает соответственно до 50 с и 100 с, объем ПГО на этих уровнях увеличивается в 2,2 раза, по сравнению с инверсной стратификацией в атмосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ржевский В.В.* Процессы открытых горных работ.— М.: «Недра», 1980.—520 с.

2. *Конорев М.М., Нестеренко Г.Ф.* Вентиляция и пылегазоподавление в атмосфере карьеров.— Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2000. — 312 с.

3. *Андреев В., Панчев С.* Динамика атмосферных термиков. — Л.: Гидрометиздат: 1975. — 152 с.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Конорев Михаил Максимович — доктор технических наук, зав. лабораторией экологии горного производства (ЭГП), Институт горного дела УрО РАН, г.Екатеринбург.

Нестеренко Геннадий Филиппович — кандидат технических наук, ст. научный сотрудник лаборатории ЭГП, Институт горного дела УрО РАН, г. Екатеринбург.

УДК 622. 82

© Б.Ф. Кирин, А.В. Светличный, 2002

Б.Ф. Кирин, А.В. Светличный

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КОЛИЧЕСТВА ОСЕВШЕЙ ВЗРЫВООПАСНОЙ УГОЛЬНОЙ ПЫЛИ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ ВЗРЫВОВ

В

угольных шахтах взрывы газа метана всегда сопровождаются взрывами пыли, охватывающими большие объемы подземного пространства, приводящими к значительным разрушениям и гибели людей.

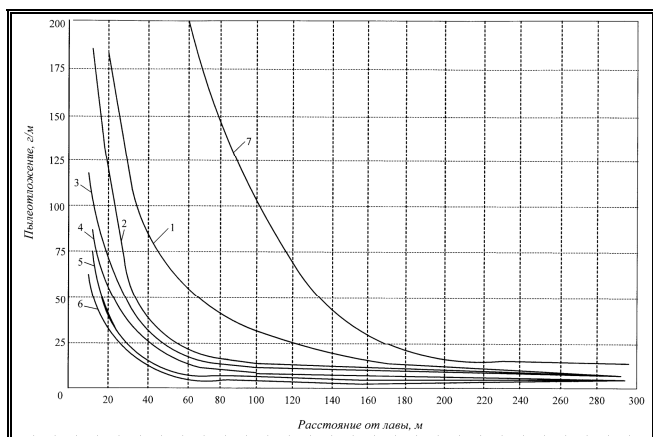
Угольная пыль взрывается при условии, если ее концентрация колеблется в пределах 5-600 г/м³. При начале взрыва газа ударной волной поднимается во взвешенное состояние осевшая пыль, что и создает взрывоопасную концентрацию.

Поэтому очень важно иметь систему, позволяющую своевременно определить количество осевшей пыли и принять меры по ее связыванию или переводу в невзрывоопасное состояние.

На основании наших исследований и исследований других авторов изменение концентрации пыли по длине выработки подчиняется экспоненциальному закону (рис. 1, 2, 3).

Как видно из рисунков концентрация пыли по длине выработки изменяется быстро на первых 50 м от источников пылеобразования. За указанным расстоянием изменение концентрации пыли в сторону уменьшения происходит медленно и на расстоянии 100-120 м она практически остается постоянной.

Закономерность изменения концентрации пыли при изменении скорости движения воздуха в горной выработке остается прежней. Изменяются только количественные значения. При большей скорости движения воздуха абсолютные значения концентраций пыли выше, чем при меньших значениях. Это объясняется тем, что подъемные аэродинами-



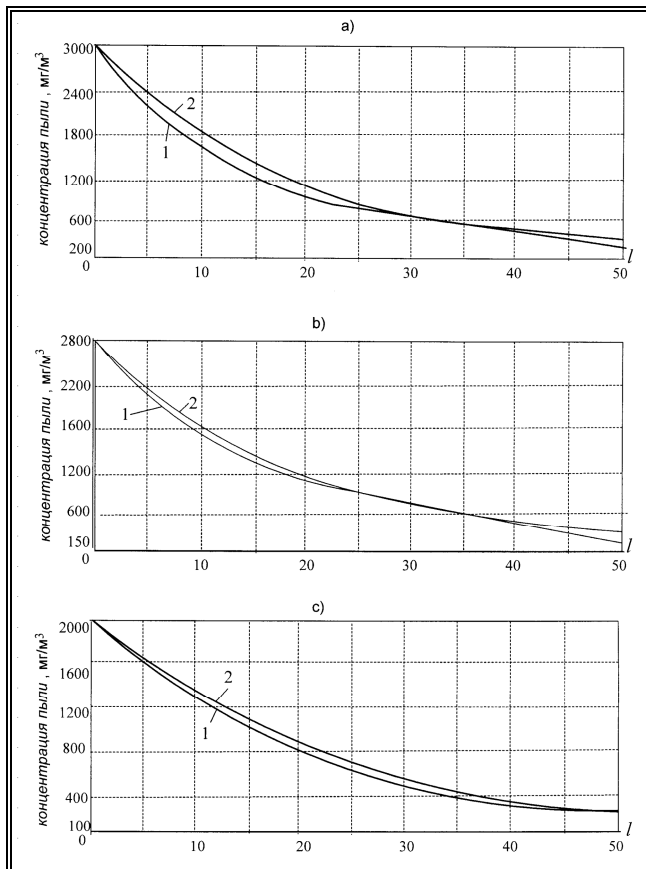
ческие силы выше. Они обеспечивают поддержание более крупных частиц пыли во взвешенном состоянии на больших расстояниях от источника пылеобразования. Исходя из экспоненциального закона изменения концентрации пыли по длине выработки предложен ряд формул для определения возможной концентрации пыли на любом расстоянии от источника ее образования при известном первоначальном значении концентрации пыли у источника образования.

Так, по формуле (1) можно определить концентрацию пыли в любом месте выработки, если известны коэффициенты a и ε , что в реальных условиях представляет определенную сложность.

$$C = C_M \cdot a \cdot e^{-\varepsilon \frac{Y^2}{R^2}}, \text{ мг/м}^3 \quad (1)$$

где C_M – максимальная концентрация в сечении выработки, мг/м³; a , ε – коэффициенты, учитывающие аэродинамические характеристики выработки, концентрацию и свойства пыли соответственно; e – основание натурального логарифма; Y – расстояние от места измерения концентрации до источника пылеобразования, м; R – расстояние от оси выработки до ее бока, м.

Формула (2)



$$\frac{K}{K_0} = \frac{1}{a + bL}, \quad (2)$$

где K – концентрация пыли на расстоянии L от источника пылеобразования, мг/м^3 ; K_0 – начальная концентрация пыли у источника пылеобразования, мг/м^3 ; a и b – коэффициенты: $a = 1$, $b = 0,03$; L – расстояние от источника пылеобразования до места замера, м.

Формула (3) представлена в виде

$$C_\theta = C_0 \cdot e^{-t\ell}, \text{ мг/м}^3 \quad (3)$$

где C_θ – концентрация пыли в выбранном нами месте выработки, мг/м^3 ; C_0 – первоначальная концентрация пыли в месте пылеобразования, мг/м^3 ; e – основание натурального логарифма; t – коэффициент затухания концентрации, с/м ; ℓ – расстояние от места пылеобразования до места, где мы должны знать концентрацию пыли, м.

$$t = m^4 \sqrt{\frac{S}{Q}}, \quad (4)$$

где m – коэффициент, учитывающий оседание частиц пыли; S – площадь поперечного сечения выработки, м^2 ; Q – количество проходящего воздуха, $\text{м}^3/\text{с}$.

Значения m можно принимать для подготовительных выработок 0,052, для очистных забоев 0,064.

Концентрация пыли в сечении выработки значительно изменяется. Поэтому определение концентрации пыли в сечении должно производиться с учетом коэффициента поля концентраций K_c

$$K_c = \frac{a_0 \cdot H \cdot e^{-a_0 h}}{1 - e^{-V_0 H}}, \quad (5)$$

где $a_0 = \frac{V_0}{K_t}$ – коэффициент, учитывающий оседание

частиц пыли в турбулентном потоке, $1/\text{м}$; V_0 – скорость оседания частиц, м/с ; K_t – коэффициент турбулентной диффузии, с/м^2 ; H – высота выработки, м; h – высота установки датчика от почвы выработки.

Значения V_0 принимаются осредненно в предположении, что на расстоянии 100 м оседают частицы пыли размером > 10 мкм. Тогда для угольной пыли $V_0 = 2,56 \text{ см/с} = 0,0256 \text{ м/с}$. Коэффициент турбулентной диффузии $K_T = 0,044 \cdot \nu \cdot \text{Re}^{0,75}$. Где ν – кинематическая вяз-

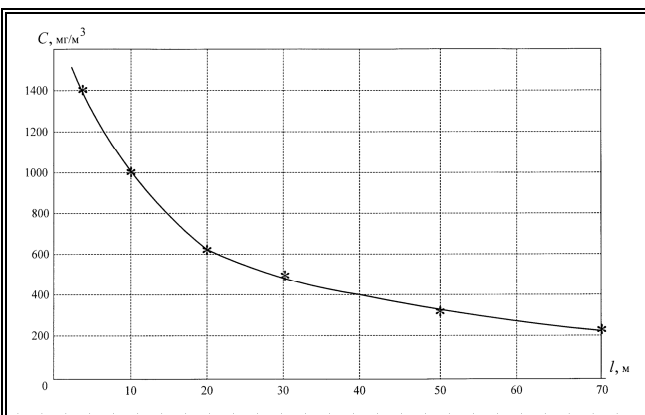


Рис. 1. Изменение концентрации по длине выработки $a = u = 0,3 \text{ м/с}$; $b = u = 0,4 \text{ м/с}$; $c = u = 1 \text{ м/с}$; 1 – экспериментальные данные; 2 – теоретические данные

Рис. 2 Отложение взрывоопасного количества пыли происходит в вентиляционном штреке на длине 30-150 м: 1 – шахта «Октябрьская», 6-й вентиляционный штрек; 2 – шахта №1-бис, 7-й восточный вентиляционный штрек; 3 – шахта №19-20, 8-й вентиляционный штрек участка №12; 4 – шахта №16-17, восточный вентиляционный штрек; 5 – шахта им. Карла Маркса, вентиляционный штрек участка №22; 6 – шахта №13-бис, 1-й восточный вентиляционный штрек; 7 – шахта №17-17-бис, 10-й восточный вентиляционный штрек

Рис. 3. Изменение концентрации пыли по длине подготовительной выработки

кость воздуха, $\text{м}^2/\text{с}$, $\nu = 14,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; Re – число Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{U_{cp} \cdot D_\Gamma}{\nu}, \quad (6)$$

где U_{cp} – средняя скорость движения воздуха в выработке, м/с ; D_Γ – гидравлический диаметр сечения выработки.

Если принять, что скорость оседания частиц в сечении остается постоянной, то концентрация пыли по высоте от почвы выработки может быть определена по формуле

$$C_B = C_0 \cdot e^{-\frac{V_{SY}}{K_t}}, \quad (7)$$

где V_{SY} – скорость оседания частиц пыли, м/с ; K_t – коэффициент диффузии.

Отношение V_{SY}/K_t для угольной пыли размером 20 мкм составляет 4,2, размером 10 мкм – 0,16, размером 1 мкм – 0,002.

При кажущейся простоте формулы (7) очень трудно подсчитать отношение V_{SY}/K_t для всего ряда дисперсности пыли.

Если принять, что на участке $L = 100-120$ м оседают фракции пыли более 10 мкм и предположить с определенной долей погрешности, что скорость оседания частиц может быть принята каким-то средним значением, то изменение концентрации пыли по длине выработки (вентиляционный штрек) может быть определена по формуле

$$C = C_0 \cdot e^{-\frac{2V_{SY} \cdot \ell}{\pi \cdot R \cdot U_B}}, \text{ мг/м}^3 \quad (8)$$

где V_{SY} – скорость оседания частиц, м/с ; R – гидравлический радиус выработки, м; U_B – скорость движения воздуха по выработке, м/с ; ℓ – расстояние от места пылеобразования до пункта замера, м.

Произведя расчеты по рассмотренным формулам приходим к выводу, что они дают значительный разброс. Расчетные данные от данных измеренных в шахтах отличаются от 15 до 30 %. Наиболее близкие результаты получены при расчете по формуле (8).

Экспериментальные данные показывают, что 80 % пыли оседают на расстоянии 150 м от источника пылеобразования. Это видно из приведенных ниже значений.

С учетом изложенного констатируем, что датчик измерения концентрации пыли следует устанавливать на расстоянии 150 м от источника пылеобразования.

Распределение пыли, выносимой из лавы на вентиляционный штрек

на участке штрека.....	от 10 до 20 м - 25%
на участке штрека.....	от 20 до 40 м - 22%
на участке штрека.....	от 40 до 60 м - 11%
на участке штрека.....	от 60 до 80 м - 7%
на участке штрека.....	от 80 до 100 м - 5%
на участке штрека.....	от 100 до 120 м - 6%
на участке штрека.....	от 150 до 200 м - 3%
на участке штрека.....	от 200 до 300 м - 1%

Принимая в дальнейших рассуждениях формулу (8). Определяем значение концентрации пыли на расстоянии 150 м от источника пылеобразования.

Для автоматизированной системы определения количества осевшей пыли поступаем следующим образом.

1. Измеряем прибором концентрацию пыли на

расстоянии 150 м, где установлен стационарный датчик.

2. Обратным счетом в соответствии с формулой (8) по программе определяем концентрацию пыли на расстоянии 10, 50, 100 и 150 м от источника пылеобразования.

3. Разность значений концентраций, измеренных на расстоянии 10, 50, 100 и 150 м, позволяет нам за определенное время и зная количества проходящего воздуха определить массу пыли осевшей на каждом участке за этот промежуток времени.

4. Зная параметры выработки – размеры площади поперечного сечения выработки по, периметру ее рассчитываем толщину слоя осевшей пыли.

5. При известном объеме выработки и количестве осевшей пыли определяется концентрация пыли в данном объеме.

6. Сравниваем полученное значение с критическим с учетом газового фактора и, если полученные значения превосходит критические или близкие к ним, то система выдает соответствующую рекомендацию.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кириин Б.Ф., Светличный А.В. — Московский государственный горный университет.