

УДК 622.414.3: 622.82

**В.А. Стукало (канд. техн. наук)**

Донецкий национальный технический университет, Донецк

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕПРЕССИИ И АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ ПОЖАРАХ**

Дан анализ существующих зависимостей для расчета депрессии и аэродинамического сопротивления выработок при рудничных пожарах.

Теоретическим путем получены зависимости для расчета депрессии и аэродинамического сопротивления выработок при пожарах.

**Ключевые слова:** депрессия, сопротивление, выработка, шахта, пожар, аэродинамика, коэффициент, периметр, длина, температура, давление, расход, воздух.

В статье В.А. Долинского и С.А. Алексеенко [1] предложена следующая формула для определения потерь напора в горных выработках при пожарах

$$h_{\text{п}} = 0,694 \frac{\alpha_{\text{H}} U L T_{\text{п}}}{S^3 T_{\text{H}}} G_{\text{H}}^2, \quad (1)$$

где  $\alpha_{\text{H}}$  – коэффициент аэродинамического сопротивления горной выработки с параметрами воздуха при нормальных условиях ( $P_{\text{H}} = 101325$  Па,  $T_{\text{H}} = 293,15$  К,  $\varphi = 60$  %), кг/м<sup>3</sup>;

$U$  – периметр горной выработки, м;

$L$  – длина горной выработки, м;

$S$  – площадь поперечного сечения выработки, м<sup>2</sup>;

$T_{\text{п}}$  – средняя температура воздуха в выработке за очагом пожара, К;

$G_{\text{H}}$  – массовый расход воздуха в выработке с очагом пожара, кг/с.

При получении выражения (1) авторы статьи [1] исходили из известной формулы для расчета депрессии выработки при нормальных условиях

$$h = \frac{\lambda \rho U L}{8 S^3} Q^2, \quad (2)$$

где  $\lambda$  – безразмерный коэффициент сопротивления трения;

$\rho_{\text{H}}$  – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – объемный расход воздуха в горной выработке, приведенный к нормальным условиям, м<sup>3</sup>/с.

Для дальнейших преобразований выражения (2) и получения зависимости (1) было использовано соотношение

$$\rho_{\text{п}} = \rho_{\text{H}} \frac{T_{\text{H}}}{T_{\text{п}}}, \quad (3)$$

В соотношении (3) не было учтено, что на плотность воздуха в выработке с очагом пожара, кроме температуры воздуха, влияет изменение состава воздуха за очагом пожара и давление воздуха в горной выработке, отличающееся от давления при нормальных условиях.

Утверждение авторов статьи [1] о том, что расчетные значения депрессии выработки с очагом пожара по выражению (1) хорошо согласуются с эксперимен-

тами, проведенными на аэродинамической модели, ошибочны. При моделировании воздух нагревался, а по составу оставался атмосферным. Кроме того, давление воздуха в модели выработки было равно атмосферному и значительно меньше давления воздуха в горных выработках угольных шахт.

В монографии [4] для расчета аэродинамического сопротивления и депрессии горной выработки с очагом пожара рекомендуются следующие зависимости:

$$R_{\text{п}} = \frac{\alpha_{\text{H}} UL}{S^3} \frac{T_{\text{H}}}{T_{\text{I}}}, \quad (4)$$

$$h_{\text{п}} = \frac{\alpha_{\text{H}} UL}{S^3} \frac{T_{\text{I}}}{T_{\text{H}}} Q_{\text{H}}^2, \quad (5)$$

При получении зависимости (1), (4) и (5) было использовано соотношение (3) и не учтена зависимость плотности воздуха в горной выработке от давления и состава воздуха до и после возникновения пожара, поэтому зависимости (1), (4) и (5) не могут использоваться для расчета аэродинамического сопротивления и депрессии горных выработок при возникновении пожаров.

Выражения для определения плотности воздуха в нормальных условиях и при наличии очага пожара в выработке должны быть представлены в виде

$$\rho_{\text{H}} = \frac{P_{\text{H}}}{R_{\text{A.I}} T_{\text{H}}}, \quad (6)$$

$$\rho_{\text{п}} = \frac{P}{R_{\text{A.C}} T_{\text{I}}}, \quad (7)$$

где  $R_{\text{A.I}}$  – газовая постоянная для атмосферного воздуха при нормальных условиях;  $R_{\text{A.I}} = 287,04$  Дж/(кг·К);

$P$  – среднее давление воздуха в горной выработке, Па; согласно [4] давление воздуха в выработке после возникновения пожара изменяется незначительно;

$R_{\text{A.C}}$  – газовая постоянная для смеси газов и паров воды в воздухе выработки за очагом пожара, Дж/(кг·К);

$T_{\text{п}}$  – средняя температура в выработке за очагом пожара, К.

С учетом выражений (6) и (7) соотношение между плотностями воздуха  $\rho_{\text{I}}$  и  $\rho_{\text{I}}$  вместо выражения (3) должно быть представлено в виде:

$$\rho_{\text{I}} = \rho_{\text{I}} \frac{R_{\text{A.I}} T_{\text{I}} D}{R_{\text{A.I}} T_{\text{I}} D} = \frac{D}{R_{\text{A.I}} D} \quad (8)$$

Как видно из выражения (8), величина плотности воздуха за очагом пожара в выработке зависит не только от температуры, но и от давления и состава воздуха.

Плотность воздуха за очагом пожара в горной выработке значительно меньше плотности воздуха в выработке до возникновения пожара.

Тогда взаимосвязь между коэффициентами аэродинамического сопротивления выработки при пожаре  $\alpha_i$  и в нормальных условиях  $\alpha_i$  может быть описана выражением:

$$\alpha_i = \alpha_i \frac{\rho_i}{\rho_i} = 0,833\alpha_i \frac{D}{R_{a.n.}\dot{O}_i}, \quad (9)$$

Из выражения (8) следует, что величина коэффициента аэродинамического сопротивления выработки с очагом пожара значительно меньше его значения при нормальных условиях. Эта разница увеличивается за счет уменьшения плотности при повышении температуры воздуха в горной выработке.

Исходя из закона сохранения массового расхода воздуха в горной выработке, можно записать:

$$Q_i = Q_i \frac{\rho_i}{\rho_i} = \rho_i Q_i \frac{R_{a.n.}\dot{O}_i}{P}, \quad (10)$$

где  $Q_p, Q_n$  – объемный расход воздуха с очагом пожара и при нормальных условиях,  $m^3/c$ .

Величину удельной газовой постоянной смеси газов и водяного пара в воздухе горной выработке за очагом пожара можно определить, руководствуясь законом аддитивности (правилом смешения) по формуле:

$$R_{a.n.} = y_1 R_{г.1} + y_2 R_{г.2} + \dots + y_m R_{г.m}, \quad (11)$$

где  $y_1, y_2, \dots, y_m$  – объемные доли компонентов в воздухе, доли ед.;

$R_{г.1}, R_{г.2}, \dots, R_{г.m}$  – удельные газовые постоянные газов и паров воды в воздухе, Дж/(кг К).

Объемная доли  $i$ -го компонента в воздухе определяется по выражению:

$$y_i = \frac{C_i \cdot M_{a,i}}{100 \cdot \dot{I}_a}, \quad (12)$$

где  $C_i$  – объемная концентрация  $i$ -го компонента в воздухе горной выработки с очагом пожара, %;

$M_{a,i}, M_e$  – соответственно относительная молекулярная масса  $i$ -го газа (водяного пара) и воздуха.

Сумма объемных долей компонентов в воздухе должна соответствовать при этом выражению (13).

$$y_1 + y_2 + \dots + y_m = 1, \quad (14)$$

Сумма объемных концентраций компонентов в воздухе должна соответствовать выражению (15).

$$C_1 + C_2 + \dots + C_m = 100\%. \quad (15)$$

где  $C_1, C_2, \dots, C_m$  – объемные концентрации газов и водяных паров в воздухе выработки при пожаре, %.

Величину удельной газовой постоянной смеси газов и водяного пара  $R_{г.с}$  можно также определить по формуле:

$$R_{г.с} = \frac{100}{\frac{C_1}{R_{г.1}} + \frac{C_2}{R_{г.2}} + \dots + \frac{C_m}{R_{г.m}}}, \quad (16)$$

где  $R_{г.1}, R_{г.2}, \dots, R_{г.m}$  – удельные газовые постоянные газов и паров воды в воздухе, Дж/(кг·К).

По аналогии с выражением (2) получим следующую зависимость для расчета депрессии горной выработки с очагом пожара:

$$h_i = \frac{\alpha_i LU}{S^3} Q_i^2, \quad (17)$$

С учетом выражений (9) и (10) зависимость (17) имеет вид:

$$h_i = 1.2 \frac{\alpha_i UL}{S^3} \frac{R_{г.г} \cdot \dot{Q}_i}{D} Q_i^2, \quad (18)$$

Аэродинамическое сопротивление выработки может быть рассчитано по выражению (19)

$$R_i = 1.2 \frac{\alpha_i UL}{S^3} \frac{R_{г.г} \cdot \dot{Q}_i}{D}, \quad (19)$$

При использовании вместо объемного расхода массового расхода воздуха зависимости для расчета депрессии и аэродинамического сопротивления горной выработки при пожаре принимают вид:

$$h_i = 0.833 \frac{\alpha_i UL R_{\dot{a}.n} \cdot \dot{O}_i}{S^3 D} G_i^2 \quad (20)$$

$$R_i = 0,833 \frac{\alpha_i UL R_{\dot{a}.n} \cdot \dot{O}_i}{S^3 D} \quad (21)$$

где  $G_n = Q_n \cdot \rho_n$  - массовый расход воздуха в горной выработке, кг/с.

Из выражения (18) видно, что для подачи в выработку определенного расхода воздуха при пожаре необходимо затратить больше энергии, чем в нормальных условиях. Аэродинамическое сопротивление горной выработки с очагом пожара, как это видно из выражения (19), больше чем при нормальных условиях.

Зависимости (18), (20) может использоваться для расчета депрессии выработки при пожаре, так как учитывают влияние изменения давления, температуры и состава воздуха на его плотность. Выражения (19), (21) рекомендуется применять для расчета аэродинамического сопротивления выработки при пожаре и внезапных выделениях метана, так как изменение состава воздуха учитывается в величине  $R_{г.с}$ .

### Список литературы

1. Долинский В.А. Определение потерь напора в выработках при пожарах / В.А. Долинский, С.А. Алексеенко // Уголь Украины. – 1983. – №9. – С. 40.
2. Скочинский А.А. Рудничная вентиляция / А.А. Скочинский, В.Б. Комаров. – М.: Углетехиздат, 1959. – 632 с.
3. Аэрология горных предприятий: учебник для вузов / К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, Л.А. Пучков и др. – М.: Недра, 1987. – 421 с.
4. Болбат И.Е. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах / И.Е. Болбат, В.И. Лебедев, В.А. Трофимов. – М.: Недра, 1992. – 206 с.

Надійшла до редколегії 13.02.2012

В.А. Стукало

Донецький національний технічний університет, Донецьк

ВИЗНАЧЕННЯ ДЕПРЕСІЇ ТА АЕРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ПРИ ПОЖЕЖАХ

Проаналізовані існуючі залежності розрахунку депресії і аеродинамічного опору виробок при рудничних пожежах. Теоретичним шляхом отримані залежності для розрахунку депресії і аеродинамічного опору виробок при пожежах.

Ключові слова: депресія, опір, виробка, шахта, пожежа, аеродинаміка, коефіцієнт, периметр, довжина, температура, тиск, витрата, повітря.

V.A. Stukalo

Donetsk National Technical University, Donetsk

DEFINITION OF DEPRESSION AND AERODYNAMIC RESISTANCE OF MINING IN THE FIRE

The analysis of the existing relations for calculation of aerodynamic resistance and depression in the mine workings is provided. Theoretically we obtained dependencies for the calculation of depression in case of fires.

Keywords: depression, resistance, development, mine, fire, aerodynamics, factor, perimeter, length, temperature, pressure, flow, air.