

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЖАРА НА ПРОВЕТРИВАНИЕ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ПРИ РАБОТЕ СРЕДСТВ ПОЖАРОТУШЕНИЯ**

В статье рассмотрены аэрогазодинамические процессы в горных выработках при тушении экзогенных пожаров. Впервые учтены особенности и предложена методика моделирования влияния тепловой депрессии на устойчивость проветривания. Показано, что при моделировании на ПЭВМ аварийной ситуации, по оценке устойчивости вентиляционных струй и выборе необходимого режима проветривания аварийного участка, в модель необходимо вводить поправку аэродинамического сопротивления пожарной выработки на величину, обусловленную действием тепловой депрессии.

В соответствии с действующими правилами безопасности решение задач, связанных с выбором аварийных вентиляционных режимов, производится как на стадии составления планов ликвидации аварий (ПЛА), так и непосредственно в аварийной обстановке при тушении пожаров.

Основное отличие указанных двух задач заключается в том, что при составлении ПЛА, как правило, предусматривается только два основных общешахтных аварийных режимов (реверсирование вентиляционных струй и комбинированный, связанный с остановкой аварийного ВГП и реверсированием остальных вентиляторов), а из местных режимов – «отрицательное» регулирование, обеспечивающее повышение устойчивости проветривания, при пожарах в наклонных выработках. Закорачивание и местное реверсирование в ПЛА предусматривается довольно редко.

В аварийных условиях, когда задачи вывода горнорабочих уже решены, возможности выбора аварийных вентиляционных режимов значительно расширяются.

Следует также отметить, что прогнозирование эффективности аварийного вентиляционного режима, как на стадии составления ПЛА, так и в оперативной обстановке имеют свои отличия. Так, в первом случае, произвольно задавая место возникновения пожара, можно заранее прогнозировать все возможные последствия развития аварии, моделировать схемы применения различных вентиляционных режимов и средств пожаротушения. К достоинствам этого подхода относится то, что мы заранее можем определить параметры вентиляционных регуляторов, которые будут использоваться в аварийных условиях, места их установки и оценить ожидаемую эффективность любого аварийного вентиляционного режима. К недостаткам этого подхода можно отнести то, что при моделировании действия пожара используются усредненные параметры его развития.

В аварийной ситуации, когда принятие решения связано с определенными временными ограничениями, объем решаемых задач значительно увеличивается (выбор места доставки регуляторов, определение их параметров и последовательности установки; выбор средств пожаротушения, особенности их доставки, установки и обеспечения и т.д.). Другими словами, необходимо решать организационные вопросы, связанные с ликвидацией аварии. В этих случаях на первый план выходит получение достоверной информации об аэродинамических параметрах горных выработок, оценка точности расчетов и интерпретация результатов моделирования аварийных ситуаций. Решение этих задач напрямую связано с человеческим фактором, т.е. профессионализмом и психологической устойчивостью людей в стрессовых ситуациях. В тоже время, здесь возможно повышение точности прогнозирования за счет получения достоверной информации непосредственно с места аварии.

К особенностям моделирования пожара можно отнести необходимость прогнозирования (ПЛА) или отслеживания динамики развития аварии. В этой связи необходимо проводить моделирование аварийной ситуации с учетом предполагаемых или реальных изменений (изменение размеров очага пожара, скорости его перемещения, образование завалов, прогорание вентиляционных сооружений, изменение газовой обстановки).

Можно выделить несколько различных этапов или стадий моделирования аварийной ситуации:

- а) нормальные условия;
- б) на момент возникновения очага пожара;
- б) на момент прибытия отделений к месту ликвидации пожара;

- в) на момент прекращения действия аварийного вентиляционного режима, предусмотренного в плане ликвидации аварий;
- г) перед включением в работу различных средств пожаротушения;
- е) после изменения режима проветривания аварийного участка или включения в работу средств пожаротушения.

Результаты моделирования различных стадий аварии позволяют прогнозировать газовую и тепловую обстановку в аварийном участке и в местах нахождения горноспасателей. При этом должны учитываться возможные изменения тепловой депрессии пожара и аэродинамических параметров аварийной выработки, а выбор аварийного вентиляционного режима производится на основании результатов наблюдений и (или) моделирования. Например, выбор эффективного аварийного вентиляционного режима, обеспечивающего применение генератора инертных газов, должен производиться с учетом технологии дистанционного тушения пожаров, изменения аэродинамических характеристик горных выработок и возможного изменения их режима проветривания. Так, при пожаре в наклонной выработке, весь комплекс расчетов может включать следующие операции:

- расчет тепловой депрессии пожара;
- моделирование действия тепловой депрессии пожара;
- оценка устойчивости вентиляционных струй;
- моделирование мероприятий, обеспечивающих устойчивое проветривание (когда устойчивость не обеспечивается);
- определение условий реализации мероприятий, обеспечивающих устойчивое проветривание (необходимые параметры регуляторов, наличие регуляторов и возможность обеспечить заданные параметры)
- оценка опасности разрушения вентиляционных сооружений (моделирование и оценка последствий);
- оценка угрозы взрыва;
- оценка опасности возникновения завалов (в одном или нескольких местах), их моделирование и оценка последствий;
- определение величины допустимого расхода воздуха по газовому фактору (когда есть угроза взрыва);
- определение необходимой подачи генератора инертных газов и выбор типа генератора;
- определение места установки генератора и перемычек;
- моделирование установки перемычек;
- моделирование включения генератора в работу;
- проверка результатов моделирования на соответствие требованиям инертизации (в случае необходимости моделируются мероприятия по сокращению утечек воздуха в аварийную выработку);
- оценка эффективности инертизации;
- оценка эффективности аварийного вентиляционного режима, обеспечивающего применение ГИГ.

Для объединения всех вышеприведенных операций необходимо разрабатывать комплекс программ или решать все эти задачи в рамках единой экспертной системы.

Одним из важных моментов при решении задач аварийной вентиляции является определение тепловых параметров вентиляционной струи [1]. Разработанная методика учитывает различные виды горючих материалов, их количество, степень загрузки выработки каждым материалом и режим вентиляции. Эти факторы оказывают решающее воздействие на формирование тепловых параметров вентиляционной струи в течение определенного промежутка времени.

К тепловым параметрам относятся:  $T_m$  – температура воздуха или пожарных газов в зоне горения ( $^{\circ}\text{K}$ ),  $h_T$  – тепловая депрессия, Па и  $\kappa_T$  – коэффициент термического сопротивления движению воздуха.

Для определения тепловых параметров вентиляционной струи используются следующие исходные данные:

$L$  – длина аварийной выработки с очагом пожара, м;  $s$  – средняя площадь ее поперечного сечения,  $\text{м}^2$ ;  $\beta$  – угол наклона аварийной выработки к горизонту, град;  $T_0$  – температура воздуха в выработке до возникновения пожара,  $^{\circ}\text{K}$ ;  $Q_0$  – расход воздуха в выработке до возникновения пожара,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $T$  – время с моментом возникновения пожара, мин;  $x_0$  – расстояние по ходу движения струи воздуха от устья в выработки до места возникновения пожара, м;  $C_{\text{кo}}$  – содержание кислорода в

выработке до возникновения пожара, %;  $C_K$  - содержание кислорода в исходящей из аварийной выработки струе воздуха, %;  $T_K$  - температура в исходящей из аварийной выработки в струе воздуха,  $^{\circ}\text{K}$ .

Дополнительно к перечисленным выше исходным данным, указывается вид горючих материалов, их количество, расположение в аварийной выработке и источник воспламенения.

Можно предложить следующий порядок расчета тепловых параметров:

1. Определяется общий объем воздуха  $q_{\text{в}}$ , необходимого для полного выгорания горючих материалов на участке единичной длины:

$$q_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n m_i \Pi_i q_i, \quad (1)$$

где данные о горючих материалах ( $m_i$  – масса I-го материала,  $\text{кг}/\text{м}^2$ , объем воздуха на полное выгорание  $q_i$ ,  $\text{м}^3/\text{кг}$ ,  $\Pi_i$  (м) – ширине горячей поверхности) берутся из таблицы 1. [1].

**Табл. 1.** Данные о горючих материалах

| Вид горючих Материалов                | Масса горючего материала $m_i$ , $\text{кг}/\text{м}^2$ | Объем воздуха на полное выгорание, $q_i$ , $\text{м}^3/\text{кг}$ | Ширина горячей поверхности $\Pi_i$ , м | Скорость горения, $V_r$ , $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{мин}$ |
|---------------------------------------|---|---|--|---|
| Конвейерная лента:<br>-резинотканевая | 15  | 10  | 2Н                                     | 0,37  |
| -резинотросовая                       | 22  | 10  | 2Н                                     | 0,37  |
| Дерево:<br>-затяжки                   | 22  | 4   | $3,3 \sqrt{S}$                         | 0,21  |
| -затяжки и рамы с расстоянием до 0,8м | 33  | 4   | $3,3 \sqrt{S}$                         | 0,21  |
| -то же с расстоянием до 0,8м          | 44  | 4   | $3,3 \sqrt{S}$                         | 0,21  |

Примечание:  $H$  - ширина конвейерной ленты, м.

2. Находится предельная скорость  $V_{np}$ , м/мин распространение пожара:

$$V_{np} = 60Q_0/q_{\text{в}} \quad (2)$$

3. Определяется параметр  $\tau^1$ , мин развития пожара:

$$\tau^1 = a_0 + a_1 Q_0/S, \quad (3)$$

где  $a_0$  и  $a_1$  – коэффициенты уравнения (3) берутся из таблицы 2.

**Табл. 2.** коэффициенты уравнения 3.

| Вид горючих материалов                 | Коэффициент $a_0$ , мин | Коэффициент $a_1$ , мин/м |
|--|-------------------------|---------------------------|
| Конвейерная лента                      | 80                      | 42                        |
| Конвейерная лента и деревянные затяжки | 20                      | 21                        |
| Деревянные затяжки                     | 20                      | 42                        |
| Деревянные затяжки и рамы              | 20                      | 21                        |

4. Определяется дальность  $L_n$  распространения пожара:

$$L_n = V_{np} (\sqrt{\tau^2 + \epsilon^2} - \epsilon) + L_0, \quad (4)$$

где  $L_0$  – начальная длина зон воспламенения (берется из таблицы 3).

**Табл. 3.** Данные по источникам воспламенения

| Источники воспламенения  | Начальная длина зоны воспламенения, $L_0$ , м |
|--|---|
| Минеральное масло, метан на больших площадях   | 10/ $\Pi_i$                                   |
| Конвейерная лента при пробуксовке, метан локально или горючие материалы при коротком замыкании | 5/ $\Pi_i$                                    |

Примечание. В остальных случаях  $L_0$  принимается равным нулю.

5. Находится время горения  $\tau_r$ , мин в месте возникновения пожара по наиболее длительно горящему материалу:

$$\tau_r = m \sqrt{V_z}, \quad (5)$$

где  $V_z$  кг/м<sup>2</sup>/мин – скорость горения дерева или конвейерной ленты (берется из таблицы 1).

6. Определяется длина зоны тления  $L_m$  для времени  $\tau > \tau_z$  по формуле:

$$L_m = V_{np} (\sqrt{(\tau - \tau_z)^2 + \epsilon^2} - \epsilon) + L_0, \quad (6)$$

7. Определяется длина зоны горения  $l_z$ :

$$l_z = L_n - L_m, \quad (7)$$

8. При наличии данных разведки и содержания кислорода и в виде горючего материала на аварийном участке определяется более точно длина зоны горения:

$$l_z^1 = (1 - c_k/c_{k0}) Q_0 / (m_i \Pi_i V_z), \quad (8)$$

9. Находится коэффициент нагрева воздуха в зоне горения:

$$a_m = 0.12 + 0.15 Q_0/S. \quad (9)$$

10. Определяется максимальная температура  $T_m$ , °К пожарных газов в зоне горения:

$$T_m = T_0 + (T_z - T_0) (1 - e^{-a_m l_z / \sqrt{S}}), \quad (10)$$

где  $T_z$  - температура горения (ориентировочно может быть принята равной 1273°К)

11. Находится расстояние  $X$  по ходу движения струи воздуха от конца зоны горения до устья выработки:

$$X = l - L_n - X_0. \quad (11)$$

12. По данным разведки о температуре воздуха  $T_k > T_0$  в исходящей струе из аварийной выработки находится более точно расстояние до зоны горения:

$$X^1 = (10 \sqrt{S} / a_m) \ln(T_m - T_0) / (T_k - T_0), \quad (12)$$

13. Определяется расчетная температура воздуха  $T_k$  на выходе из аварийной выработки

$$T_k = T_0 + (T_m - T_0) e^{-amx/(10\sqrt{s})}. \quad (13)$$

14. Определяется величина тепловой депрессии  $h_m$  при  $\rho_0 = 1,2 \text{ кг/м}^3$  и  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  по формуле:

$$h_m = \rho_0 g l_z \sin\beta (1 - T_0/T_z + (10\sqrt{s}/a_m l_z) \ln(T_{жс}/T_k)). \quad (14)$$

15. Находится коэффициент термического расширения воздуха:

$$\kappa_m = 1 + l_z/l [T_z/T_0 - 1 + 10\sqrt{s}/a_m l_z (T_m/T_0 - T_k/T_0)]. \quad (15)$$

При моделировании на ПЭВМ аварийной ситуации, оценке устойчивости вентиляционных струй и выборе необходимого режима проветривания аварийного участка, в модель вводится поправка аэродинамического сопротивления пожарной выработки на величину  $\kappa_m$ :  $R_a = \kappa_m R$ . Величина тепловой депрессии пожара определяется на момент времени  $\tau$  после возникновения очага пожара. Такой подход позволяет производить оценку влияния тепловой депрессии пожара на проветривание аварийного участка на любой момент времени, после начала горения.

Важным элементом моделирования аварии является учет действия всех факторов на вентиляцию горных выработок [2-5]. Методическая база расчетов должна позволять оценивать не только влияние каждого фактора в отдельности, так и их комплексное воздействие на проветривание аварийного участка. Аналогичный, комплексный, подход должен применяться при работе любых средств пожаротушения.

#### Библиографический список

1. Руководство по определению параметров подземного пожара и выбору эффективных средств его тушения: Утв. Всесоюзным управлением ВГСЧ 9.09.85 / ВНИИГД. – Донецк, 1985. – 96 с.
2. Рекомендации по выбору эффективных режимов проветривания шахт при авариях. – Донецк: НИИГД, 1995. – 168 с.
3. Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах, опасных по газу и пыли: Утв. Всесоюзным управлением ВГСЧ 22.10.86 / ВНИИГД. – Донецк, 1989. – 190 с.
4. Руководство по применению инертных газов при ликвидации пожаров в шахтах: Утв. Начальником Центрального штаба ВГСЧ Минуглепрома СССР 19.07.89 / ВНИИГД. – Донецк, 1989. – 190 с.
5. Болбат И.Е., Лебедев В.И., Трофимов В.А. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах. – М.: Недра, 1992. – 206 с.