



УДК 622.824.2

А. Г. МНУХИН, А. М. БРЮХАНОВ, доктора техн. наук
(МакНИИ)

В. Г. АГЕЕВ, канд. техн. наук, **П. С. ПАШКОВСКИЙ**, доктор техн. наук
(НИИГД «Респиратор»)

С. Я. МАХНО, доктор физ.-мат. наук
(Институт прикладной математики и механики НАН Украины)

А. И. ПАНИШКО, канд. техн. наук
(ГП «Донуглереструктуризация»)

Способы оценки состава газов в шахтной атмосфере при тяжелых техногенных авариях*

Приведены способы оценки газового состава атмосферы угольных шахт в результате тяжелых техногенных аварий (взрыва или пожара) и после них в случае невозможности нахождения человека в аварийных выработках. Изложено применение методов классической статистики. Полученные данные могут использовать специалисты для эффективной локализации и безопасной ликвидации подземных пожаров в угольных шахтах.

При взрыве метановоздушной смеси или угольной пыли в горных выработках происходят резкие скачкообразные изменения газового состава. В поступающем из зоны аварии воздушном потоке доля O_2 иногда уменьшается до 1–2 %, а затем плавно увеличивается до первоначального значения. Динамика изменения доли CH_4 аналогична. Значения доли CO_2 и CO при взрыве метана примерно такие же, как и при его горении, и по мере проветривания горных выработок довольно быстро снижаются, если метан не продолжает гореть. Если во взрыве приняла участие угольная пыль, доля CO_2 может достигнуть нескольких процентов.

Доля метана в горных выработках зависит также от вентиляционного давления. Известно, что метан в шахте находится в свободном и сорбированном состоянии [9]. Количество сорбируемого углем газа увеличивается с ростом вентиляционного давления. При снижении последнего газ из связанного состояния переходит в атмосферу. О влиянии вентиляционного давления на метановыделение можно судить по результатам эксперимента, проведенного на одной из шахт Донбасса [10]. В нормальном режиме проветривания доля метана в выработанном про-

странстве лавы составляла 9,9 %. После уменьшения вентиляционного давления она возросла до 21,9 %. После увеличения давления воздуха до прежнего значения доля метана в выработанном пространстве снизилась до 9,8 %.

В ходе ведения аварийно-спасательных работ режим проветривания аварийного участка может изменяться. Это неизбежно сопровождается изменением вентиляционного давления и, как следствие, изменением концентрации метана [12]. Часто режим проветривания меняется самопроизвольно, например из-за завалов.

Таким образом, обладая достоверной информацией о газовом составе в горных выработках, можно квалифицировать расчетным путем вид аварии и идентифицировать вид горючего материала, принявшего участие в процессе горения, и интенсивность его сгорания. Основными газами, характеризующими пожаровзрывоопасность в горных выработках (пожары и взрывы), являются кислород, диоксид углерода, метан, оксид углерода и водород.

Схематически модель, используемая для расчетов, показана на рис. 1. Измерения состава газов CH_4 , O_2 , CO_2 и CO проводятся в точках 1 и 2. По данным этих измерений необходимо сделать вывод о процессах, происходящих в недоступной для наблюдения точке 3.

При различных авариях в точке 3 происходят процессы, обуславливаемые влиянием многих случайных факторов, которые трудно определить и впоследствии учесть. Поэтому предлагается сравнивать получаемые данные в точках 1 и 2, которые можно легко и точно определить на поверхности аварий-

* Окончание. Начало см.: Уголь Украины. – 2012. – № 8. – С. 23–30.



Рис. 1. Модель для расчетов: 1, 2, 3 – точки отбора проб.

ного объекта (шахты). При этом методами математической статистики достаточно точно сравнивают две выборки и с заданной вероятностью подтверждают или отвергают математическую гипотезу, основанную на наблюдениях.

С математической точки зрения имеются данные x_1, x_2, \dots, x_m по некоторому (или некоторым) из газов в точке 1 и данные y_1, y_2, \dots, y_n по тому же газу в точке 2. Эти данные рассматриваются как результаты m независимых наблюдений некоторой случайной величины X с функцией распределения $F(x)$, неизвестной статистике и, соответственно, как результаты n независимых наблюдений другой случайной величины Y с функцией распределения $G(x)$, также неизвестной статистике. При этом наблюдения в одной выборке не зависят от наблюдений в другой.

Предлагается проанализировать имеющиеся две выборки на однородность. Если выборки однородны, то наблюдаемые значения определяют одинаковые случайные процессы и с большой вероятностью точки 1 и 2 сообщаются. По содержанию и составу газов в них можно судить о процессе, происходящем в точке 3. Если же выборки неоднородны, то наблюдаемые значения определяют разные случайные процессы, следовательно, в точке 3 имеется препятствие для сообщения между точками 1 и 2. Если вначале измерений выборки по всему составу газов неоднородны, точки 1 и 2 не сообщаются, например, перегородка устояла, а если с некоторого момента становятся однородными, то препятствие в точке 3 устранено. Если же в процессе наблюдения однородные выборки перестают быть однородными, то в точке 3 появилось препятствие, например произошел обвал.

Однако при этом возникают вопросы: если выборки однородны по одному (одним) газу и неоднородны по другим газам, то как оценить их состояние; если выборки однородны вначале, а затем становятся неоднородными по некоторым из этих же газов.

Понятие «однородность», т. е. «отсутствие различия», может быть формализовано в терминах вероятностной модели следующим способом: обе выборки взяты из одной и той же генеральной совокупности, т. е. справедлива нулевая гипотеза

$H_0: F(x) = G(x)$ для всех x . Отсутствие однородности означает, что верна альтернативная гипотеза, согласно которой $H_1: F(x_0) \neq G(x_0)$ хотя бы при одном x_0 . Априорное предположение о принадлежности функций распределения $F(x)$ и $G(x)$ к какому-либо определенному параметрическому семейству (например, семействам нормальных распределений, логарифмически нормальных распределений и др.) обычно зависит от конкретных условий для экспериментов и требует надежного обоснования. Анализ имеющихся данных показал, что нет достаточных оснований выдвигать гипотезу о принадлежности функций $F(x)$ и $G(x)$ к одному из классических законов вероятностных распределений (например, среди данных имеется много повторяющихся значений). Поэтому для проверки гипотезы H_0 предлагается использовать методы, пригодные при любом виде функций $F(x)$ и $G(x)$, т. е. непараметрические методы.

Таковыми методами являются известные критерии Лемана–Розенблатта (типа омега-квадрат) [12], Манна – Уитни – Вилкоксона [13], Вилкоксона [1]. Опишем их. Упорядочиваем данные выборок $(x_1, x_2, \dots, x_m), (y_1, y_2, \dots, y_n)$ по возрастанию. Считаем, что $m \leq n$. В противном случае выборки меняются местами. Получим порядковые статистики $x_1^* \leq x_2^* \leq \dots \leq x_m^*$ и $y_1^* \leq y_2^* \leq \dots \leq y_n^*$. Уровень значимости (ошибка первого рода) обозначим α , $u_\beta - \beta$ – квантиль стандартного нормального распределения.

Критерий Лемана–Розенблатта. Обозначим: r_i – ранг (место) x_i^* ; s_j – ранг (место) y_j^* в общем вариационном ряду, построенном по объединенной выборке. Далее вычисляем величины

$$A = \frac{1}{mn(m+n)} \left[m \sum_{i=1}^m (r_i - i)^2 + n \sum_{j=1}^n (s_j - j)^2 \right] - \frac{4mn-1}{6(m+n)}; \quad (17)$$

$$L = \frac{A - \frac{1}{16} \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{n} \right) - \frac{3}{256} \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{n} \right)^2}{1 + \frac{1}{m+n} - \frac{3}{8} \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{n} \right) - \frac{9}{128} \left(\frac{1}{m} + \frac{1}{n} \right)^2}. \quad (18)$$

Гипотеза H_0 отклоняется с достоверностью $1 - \alpha$, если $L > l_\alpha$. Значения l_α приведены в работе [2]. Для $\alpha = 0,05$; $l_\alpha = 0,46$.

Критерий Манна – Уитни – Вилкоксона. Положим

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1, & x_i^* < y_j^* \\ 0, & x_i^* \geq y_j^* \end{cases} \quad (19)$$

и вычислим
$$U = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \delta_{ij}. \quad (20)$$

Таким образом, U – точное число пар значений (x_i^*, y_j^*) , для которых $x_i^* < y_j^*$.

Затем вычисляем

$$W = \left(\frac{nm}{2} - U \right) / Z; \quad (21)$$

$$Z = \left\{ \frac{nm(n+m+1)}{12} \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^k t_i(t_i-1)}{(m+n)(m+n-1)(m+n+1)} \right] \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (22)$$

где k – число групп совпадающих величин ($x_r^* = y_l^*$) в разных выборках;

t_i – число совпадающих величин в i -й группе.

Подчеркнем, что совпадение величин внутри одной выборки роли не играет. При достаточно большом значении $n + m$ статистика W аппроксимируется нормальным распределением, и гипотеза H_0 отклоняется с достоверностью $1 - \alpha$, если $|W| > u_{[1-(\alpha/2)]}$.

Критерий Вилкоксона. На основе элементов обеих порядковых статистик строим общий вариационный ряд. Если значения $x_r^* = y_l^*$, то раньше ставим элемент из выборки меньшего объема, т. е. x_r^* . Индексы и конкретные значения элементов опускаем, так как имеет значение только место элементов выборки меньшего объема. Далее подсчитываем сумму порядковых номеров R_i – вариант меньшей по объему выборки. Обозначим

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_k. \quad (23)$$

Случайная величина u имеет распределение Вилкоксона и, если

$$R < R_n \text{ или } R > R_b, \quad (24)$$

то нулевую гипотезу отвергаем. Так как число данных проб газа за рассматриваемый промежуток времени достаточно велико, то критические точки величин R_n и R_b определяем по формулам

$$R_n = \frac{(n+m+1)n-1}{2} - u_{[1-(\alpha/2)]} \sqrt{\frac{(n+m+1)nm}{12}}, \quad (25)$$

$$R_b = (n+m+1)n - R_n. \quad (26)$$

Экспериментальные данные проверяются всеми указанными критериями на однородность с уровнем значимости 0,05. Учитывая, что мощность непараметрических критериев меньше мощности параметрических, вывод об однородности выборок принимался в том случае, если, по крайней мере, по двум критериям гипотеза однородности была непротиворечива.

Предварительному анализу и последующей математической обработке подлежали данные, полученные в процессе ликвидации аварии на одной из шахт отрасли по данным МЧС и горноспасательной

службы. В сводной таблице мест и времени замеров приведены данные о совмещении времени повторных второго и третьего возгораний (взрывов) (табл. 5). Замерам подлежали концентрации газов CO_2 , O_2 , CH_4 и CO в соответствующих точках.

Для получения достоверных значений согласно с данными, приведенными в работе [14], необходимо выполнить 70 измерений (получение случайной ошибки 0,2 с надежностью 0,9). Указанное значение и было принято за основу при реализации исходных данных. На основании данных компьютерного учета состояния аварийного объекта (шахты) составлена сводная таблица мест и времени замеров (см. табл. 5). Точки отбора проб газов по линиям «Дистоп» показаны на рис. 2.

После первого взрыва 18.11.07 г. в 03 ч 11 мин с пожаром до взрыва 01.12.07 г., 05 ч 55 мин: средние данные измерений в точках 1 и 2 однородны по всем составам газов и неоднородны с данными точки 7 по всем составам газов.

CO ₂	O ₂	CH ₄	CO
Точка 1			
3,701	6,432	8,344	0,481
Точка 2			
3,716	6,401	8,345	0,482
Точка 7			
3,200	6,954	7,236	0,345

После взрыва 02.12.07 г., 21 ч 20 мин выделяются следующие группы данных:

- A.** С 03.12.07 г. по 06.12.07 г. в точках 3, 4, 6 и 8;
- B.** С 07.12.07 г. по 11.12.07 г. в точках 1, 3, 6 и 8;
- C.** С 17.12.07 г. по 20.12.07 г. в точках 1, 3, 6 и 8;
- D.** С 19.12.07 г. добавляются данные в точке 4.

Средние данные измерений газов по группам
Группа А

CO ₂	O ₂	CH ₄	CO
Точка 3			
0,142	20,402	0,174	0,001
Точка 4			
0,121	20,457	0,040	0,0001
Точка 6			
0,109	20,473	0,054	0,0002
Точка 8			
0,206	20,300	0,447	0,034

Данные измерений в точках 4 и 6 по всем составам газов все время однородны, в точках 4 и 8, 6 и 8 – неоднородны.

Таблица 5

	Дата	Точка 2	Точка 3	Точка 5	Точка 6	Точка 7	Точка 8	Точка 4	Точка 1	
Взрыв 18.11.07 г. 03 ч 11 мин	17.11.07 г.									
	18.11.07 г.									
	19.11.07 г.									
	20.11.07 г.									
	21.11.07 г.									
	22.11.07 г.									
	23.11.07 г.									
	24.11.07 г.									
	25.11.07 г.		25.11.07 г. 01 ч 00 мин							
	26.11.07 г.			26.11.07 г. 17 ч 45 мин						
Взрыв 01.12.07 г. 05 ч 55 мин	27.11.07 г.									
	28.11.07 г.									
	29.11.07 г.									
	30.11.07 г.									
	01.12.07 г.			02.12.07 г. 22 ч 30 мин						
	02.12.07 г.									
	03.12.07 г.									
	04.12.07 г.									
	05.12.07 г.									
	06.12.07 г.									
Взрыв 02.12.07 г. 21 ч 20 мин	07.12.07 г.									
	08.12.07 г.									
	09.12.07 г.									
Группа А, точки 6-8	10.12.07 г.									
	11.12.07 г.									
	12.12.07 г.									
Группа В, точки 6-8	13.12.07 г.									
	14.12.07 г.									
	15.12.07 г.									
Группа С, точки 6-8	16.12.07 г.									
	17.12.07 г.									
	18.12.07 г.									
Группа D, точка 6	19.12.07 г.									
	20.12.07 г.									
	20.12.07 г.									

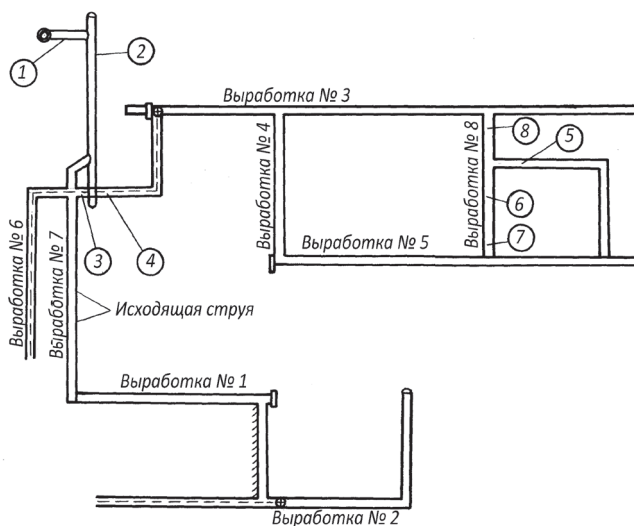


Рис. 2. Точки отбора на плане горных выработок: 1 – ВВС № 2 30 м ниже отметки «0»; 2 – проба № 5, трубный ходок из става газоотсоса; 3 – параллельный квершлаг, горизонт 1078, пласт k_8 , в гезенке; 4 – параллельный квершлаг, горизонт 1078, пласт k_8 , 25 м южнее гезенка; 5 – параллельный квершлаг, горизонт 1078, пласт k_8 , 50 м южнее гезенка; 6 – параллельный квершлаг, горизонт 1078, пласт k_8 , 25 м севернее гезенка; 7 – проба № 6, трубный ходок из дегазационного става; 8 – канал ВПГ, ВВС № 2 у колеса рабочего вентилятора.

Данные измерений в точках 3 и 4, 3 и 6 по CO_2 однородны все время, по O_2 однородны с 03.12.07 г., 12-45 по 04.12.07 г., 04-55, а далее – неоднородны.

Средние данные по O_2

Точка 3	Точка 4	Точка 6
С 03.12.07 г., 12-45 по 04.12.07 г., 04-55		
20,4727	20,4546	20,5000
С 04.12.07 г., 05-55 по 06.12.07 г., 22-00		
20,3781	20,4581	20,4636

По CH_4 и CO данные неоднородны.

Данные измерений в точках 3 и 8 по O_2 неоднородны с 03.12.07 г., 12-45 по 04.12.07 г., 05-55, а затем однородны.

Средние данные по O_2 с 03.12.07 г., 12-45 по 04.12.07 г., 05-55

Точка 3	Точка 8
20,4727	20,2231

Средние данные по O_2 с 04.12.07 г., 05-55 по 06.12.07 г., 22-00

Точка 3	Точка 8
20,3774	20,3364

По CO_2 , CH_4 и CO данные неоднородны.



Группа В

CO ₂	O ₂	CH ₄	CO
<i>Точка 1</i>			
0,3040	20,1120	1,0160	0,1130
<i>Точка 3</i>			
0,1367	20,3878	0,3122	0,0019
<i>Точка 6</i>			
0,134	20,404	0,154	0,001
<i>Точка 8</i>			
0,142	20,412	0,308	0,033

Данные измерений в точках 1 и 3, 1 и 6, 1 и 8 все время *неоднородны* по всем газам, а в точках 3 и 6, 3 и 8, 6 и 8 по CO₂ и O₂ все время *однородны*, по CH₄ и CO *неоднородны*.

Группа С

CO ₂	O ₂	CH ₄	CO
<i>Точка 1</i>			
0,132	20,355	0,540	0,009
<i>Точка 3</i>			
0,182	20,290	0,615	0,001
<i>Точка 6</i>			
0,113	20,454	0,182	0,0002
<i>Точка 8</i>			
0,103	20,469	0,146	0,002

Данные измерений в точках 1 и 3 по CO₂ *однородны* 17.12.07 г. с 00-00 по 18.12.07 г. до 10-00, а далее *неоднородны*.

Средние данные по CO₂ с 17.12.07 г., 00-00 по 18.12.07 г., 10-00

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 3</i>
0,144	0,183

Средние данные по CO₂ с 18.12.07 г., 10-00 по 20.12.07 г., 6-00

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 3</i>
0,123	0,182

Данные измерений по O₂ в точках 1 и 3 *однородны* с 17.12.07 г., 00-00 по 19.12.07 г., 19-12, а затем *неоднородны*.

Средние данные по O₂ с 17.12.07 г., 00-00 по 19.12.07 г., 19-12

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 3</i>
20,332	20,291

Средние данные по O₂ с 19.12.07 г., 19-12 по 20.12.07 г., 05-50

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 3</i>
20,483	20,283

По CH₄ здесь же все время *неоднородны*, по CO *неоднородны* с 17.12.07 г., 00-00 по 17.12.07 г., 15-55, а затем становятся *однородными*.

Средние данные по CO с 17.12.07 г., 00-00 по 17.12.07 г., 15-55

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 3</i>
0,036	0,002

Средние данные по CO с 17.12.07 г., 15-55 по 20.12.07 г., 05-50

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 3</i>
0,001	0,001

Данные измерений в точках 1 и 6, 1 и 8 по CO₂ *неоднородны* с 17.12.07 г., 00-00 по 17.12.07 г., 15-55, а с 17.12.07 г., 17-55 становятся *однородными*.

Средние данные по CO₂ с 17.12.07 г., 00-00 по 17.12.07 г., 15-55

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 6</i>	<i>Точка 8</i>
0,189	0,100	0,112

Средние данные по CO₂ с 17.12.07 г., 15-55 по 20.12.07 г., 05-50

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 6</i>	<i>Точка 8</i>
0,116	0,116	0,100

По O₂ данные *неоднородны* с 17.12.07 г., 00-00 по 19.12.07 г., 10-00, а затем становятся *однородными*.

Средние данные по O₂ с 17.12.07 г., 00-00 по 19.12.07 г., 10-00

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 6</i>	<i>Точка 8</i>
20,310	20,452	20,459

Средние данные по O₂ с 19.12.07 г., 10-00 по 20.12.07 г., 05-50

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 6</i>	<i>Точка 8</i>
20,492	20,467	20,500

По CH₄ данные все время *неоднородны*, по CO *неоднородны* с 17.12.07 г., 00-00 по 18.12.07 г., 20-00, а затем становятся *однородными*.

Средние данные по CO с 17.12.07 г., 00-00 по 18.12.07 г., 20-00

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 6</i>	<i>Точка 8</i>
0,014	0	0,003

Средние данные по CO с 17.12.07 г., 18.12.07 г., 20-00 по 20.12.07 г., 05-50

<i>Точка 1</i>	<i>Точка 6</i>	<i>Точка 8</i>
0,014	0	0,003

Данные измерений в точках 3 и 6, 3 и 8 по CO₂, O₂, CH₄ все время *неоднородны*, по CO *неоднородны* с 17.12.07 г., 00-00 по 19.12.07 г., 00-00, а затем становятся *однородными*.



Таблица 6

Исходные данные	Коэффициенты парной корреляции между газами в контрольных точках	Характер газовыделения	Состояние выработок между контрольными точками	Концентрации выделяющихся газов до и после пожара
Однородны (<i>t</i> -критерий Стьюдента, критерий Вилкоксона, критерий Манн-Уитни)	$R_1 < R_2$	Const	Разрушение перемычки в выработке	$\bar{X}_1 \approx \bar{X}_2$
	$R_1 = R_2$	Const	Выработка const	$\bar{X}_1 \approx \bar{X}_2$
	$R_1 > R_2$	Const	Обрушение части выработки	$\bar{X}_1 \approx \bar{X}_2$
Неоднородны (<i>t</i> -критерий Стьюдента, критерий Вилкоксона, критерий Манн-Уитни)	$R_1 < R_2$	Изменение газовыделения	Разрушение перемычки в выработке	$\bar{X}_1 > \bar{X}_2 ;$ $\bar{X}_1 = \bar{X}_2 ;$ $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$
	$R_1 = R_2$	То же	Выработка const	$\bar{X}_1 > \bar{X}_2 ;$ $\bar{X}_1 < \bar{X}_2 ;$ $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$
	$R_1 > R_2$	»	Обрушение выработки	$\bar{X}_1 > \bar{X}_2 ;$ $\bar{X}_1 = \bar{X}_2 ;$ $\bar{X}_1 < \bar{X}_2$

Средние данные по CO с 17.12.07 г., 00-00
по 19.12.07 г., 00-00

Точка 3	Точка 6	Точка 8
0,001	0,0003	0,003

Средние данные по CO с 19.12.07 г., 00-00
по 20.12.07 г., 05-50

Точка 3	Точка 6	Точка 8
0,0002	0	0

Группа D

(данные по CO равны нулю)

CO ₂	O ₂	CH ₄
	Точка 1	
0,127	20,453	0,140
	Точка 3	
0,167	20,280	0,667
	Точка 4	
0,1000	20,480	0,100
	Точка 6	
0,113	20,473	0,187
	Точка 8	
0,100	20,500	0,014

Данные измерений в точках 1 и 3, 3 и 4, 3 и 6, 3 и 8 все время *неоднородны* по всем газам, а в точках 1 и 6, 1 и 4, 6 и 4 все время *однородны* по всем газам. Кроме того, данные в точках 1 и 8, 4 и 8 по CO₂ и O₂ *однородны*, а по CH₄ все время *неоднородны*.

Сводные данные состояния горных выработок в зависимости от параметров газовыделения до и после пожаров и газодинамических явлений приведены в табл. 6.

Состояние процесса горения в выработках в зависимости от соотношения выделяющихся газов приведено в табл. 7.

Таблица 7

Горение	Погасание
(CO ₂) ¹ < (CO ₂) ²	(CO ₂) ¹ > (CO ₂) ²
(O ₂) ¹ > (O ₂) ²	(O ₂) ¹ < (O ₂) ²
(CH ₄) ¹ > (CH ₄) ²	(CH ₄) ¹ < (CH ₄) ²
(CO) ¹ < (CO) ²	(CO) ¹ > (CO) ²

П р и м е ч а н и е. В верхнем индексе указан номер точки замера.

Таким образом, по концентрациям горючих газов (CO_2 , O_2 , CH_4 , CO), выделяющихся в различных точках аварийной шахты в процессе горения, можно определить состояние процессов, происходящих в горных выработках.

Итак, методами классической математической статистики впервые установлены закономерные взаимозависимости составов газов в шахтной атмосфере при таких тяжелых техногенных авариях, как подземные взрывы, пожары и др. Посредством полученных зависимостей стало возможно прогнозировать состояние горных выработок, в том числе и аварийных, не только в части их геометрических размеров (разбита, обрушена), но и пожарного состояния: горение – погасание пожара без посещения объекта тяжелой техногенной аварии (в данном случае шахты) человеком.

При этом можно принимать обоснованные решения для реализации различных планов пожаротушения (заперемычивание, пенотушение или затопление водой горных выработок), планирования процесса последующего перемещения людей по аварийным выработкам на базе еще предварительного представления о характере и динамике крупной техногенной аварии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мнухин А. Г. Методы безопасной оценки состояния горных выработок после техногенных аварий / А. Г. Мнухин, А. М. Брюханов, В. Г. Агеев // Уголь Украины. – 2009. – № 9. – С. 23 – 26.
2. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами / Д. Химмельблау. – М.: Мир, 1973. – 959 с.
3. Скочинский А. А. Рудничная вентиляция / А. А. Скочинский, В. Б. Комаров. – М.-Л.: Углетехиздат, 1959. – 632 с.
4. Бурчаков А. С. Рудничная аэрология / А. С. Бурчаков, П. И. Мустель, К. З. Ушаков. – М.: Недра, 1971. – 374 с.
5. Соболев Г. Г. Тушение подземных пожаров на угольных шахтах / [Г. Г. Соболев, В. П. Чарков и др.]. – М.: Недра, 1977. – 248 с.
6. Смоланов С. Н. Ликвидация сложных подземных аварий методами вентиляционного воздействия / С. Н. Смоланов. – Днепропетровск: Наука и образование, 2002. – 272 с.
7. Кошовский Б. И. Контроль состояния изолированного подземного пожара / Б. И. Кошовский, Г. Б. Тында, Я. Цыганкевич // Горноспасательное дело. – 2004. – Вып. 41. – С. 58 – 61.
8. Struminski A. Zwalozanie pozarow podziemnych / A. Struminski // Wyawnictwo polskiej Akademii Nauk. – 1987. – 347 с.
9. Горное дело: энциклопед. справ. – М.: Углетехиздат, 1959. – Т. 6. – 375 с.
10. Болбат И. Е. Аварийные вентиляционные режимы в угольных шахтах / И. Е. Болбат, В. И. Лебедев, В. А. Трофимов. – М.: Недра, 1992. – 206 с.
11. Пашковский П. С. Оценка газовой обстановки в реверсивном режиме проветривания выемочного участка / П. С. Пашковский, В. И. Лебедев // Горноспасательное дело. – 2007. – Вып. 44. – С. 100 – 106.
12. Большев Л. Н. Таблицы математической статистики / Л. Н. Большев, Н. В. Смирнов: 3-е изд. – М.: Наука, 1983.
13. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. – М.: Наука, 2006.
14. Зайдель А. Н. Ошибки измерений физических величин / А. Н. Зайдель. – Л.: Наука, 1974. – 108 с.