

УДК 622.456:622.864.4

Ю.Н. Перехрест, главный специалист дирекции по добыче угля ООО ДТЭК,
Ю.В. Лебедева, ст. науч. сотр., Л.Н. Васильева, мл. науч. сотр. НИИГД «Респиратор»,
Донецк

ВЛИЯНИЕ МЕТАНОВЫДЕЛЕНИЯ В ИЗОЛИРОВАННОМ УЧАСТКЕ НА ЕГО АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ

Yu.N. Perekhrest, main specialist of the Coal production management (DTEK private
company, Donetsk), Yu.V. Lebedeva, senior researcher, L.N. Vasilyeva, associate scientist
(NIIGD “Respirator, Donetsk)

INFLUENCE OF METHANE RELEASE IN THE ISOLATED DISTRICT ON ITS AERODYNAMIC PARAMETERS

Цель. Установление сферы применения двух интегральных методов определения утечек воздуха (действующего и нового) путём их сравнения в разных горно-геологических условиях.

Методика. В процессе выполнения работы оценивали степень влияния метановыделения внутри изолированного участка на вентиляционные параметры изолированного участка и на погрешность определения утечек воздуха интегральными методами. Исследования проводили аналитически и путём компьютерного моделирования шахтной вентиляционной сети.

Результаты. Проведенные исследования показали, что: метановыделение, происходящее в изолированном участке, существенно влияет на его вентиляционные параметры, на основании которых интегральными методами рассчитывают утечки воздуха; существующий метод определения утечек воздуха через изолированные пожарные участки пригоден для шахт, не опасных по газу, или шахт с небольшой интенсивностью метановыделения; разработанный новый интегральный метод определения утечек воздуха через изолированные пожарные участки следует применять на метанообильных шахтах.

Научная новизна. Новый интегральный метод определения утечек воздуха через изолированные пожарные участки учитывает интенсивность метановыделения в изолированном пространстве.

Практическая значимость. Разработанный метод, обеспечивающий высокую точность определения утечек воздуха через изолированный пожарный участок, позволяет оценить эффективность возведения изоляционных сооружений, особенно на метанообильных шахтах.

Ключевые слова: шахта, пожар, тушение пожара, изоляция, утечки воздуха, метан.

Постановка проблемы. Один из способов тушения подземных пожаров заключается в изоляции аварийного участка специальными перемычками с целью прекращения поступления свежего воздуха к очагу горения. Продолжительность тушения пожара зависит от степени герметизации аварийного участка. Чем качественнее выполнена изоляция, тем скорее наступит затухание пожара. О качестве изоляции аварийного участка судят по значениям утечек воздуха через него.

Периметр изолированного участка – обычно несколько тысяч метров. Утечки воздуха рассредоточены по всему периметру, поэтому их трудно (или невозможно) непосредственно измерить существующими приборами.

НИИГД «Респиратор» разработан интегральный метод определения утечек воздуха через изолированные пожарные участки [1]. Сущность метода заключается в том, что сопротивление перемычки *A*, расположенной на поступающей струе (рис. 1), уменьшают путём открывания в ней трубы

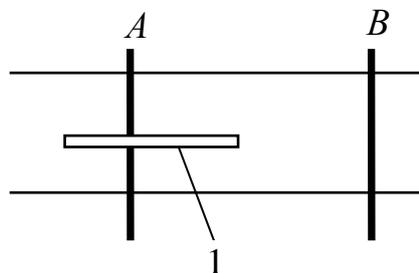


Рис. 1. Схема изолированного участка:

1 – труба; *A* и *B* – перемычки

диаметром 0,1...0,2 м, вследствие чего изменяются депрессии по всему периметру изолированного участка, в том числе перемычек *A* и *B*.

Измеряя депрессии перемычек *A* и *B* при закрытой и открытой трубе, а также расход воздуха в открытой трубе, определяют утечки $Q_{ут}$, м³/с, по всему периметру изолированного участка по формуле

$$Q_{ут} = \frac{q \sqrt{h_1 h_2 / h_1' h_2'}}{\sqrt{h_1 / h_1'} - \sqrt{h_2 / h_2'}}, \quad (1)$$

где q – расход воздуха в открытой трубе, м³/с;

h_1, h_2, h_1', h_2' – соответственно депрессии перемычек *A* и *B* при закрытой и открытой трубе, Па.

Изложенный метод определения утечек воздуха через изолированный участок включен в действующий Устав по организации и ведению горноспасательных работ [2] и в течение многих лет горноспасатели применяли его на практике. Однако в ряде случаев с его помощью не обеспечивалась необходимая точность определения утечек воздуха, так как метод не учитывает метановыделения внутри изолированного участка, поэтому разработан новый интегральный метод определения утечек воздуха через изолированные пожарные участки [3]. При использовании нового метода порядок измерений остаётся прежним, но утечки воздуха определяют по зависимости

$$Q_{ут} = \frac{(q + I) \sqrt{h_1 h_2 / h_1' h_2'} - I \sqrt{h_1 / h_1'}}{\sqrt{h_1 / h_1'} - \sqrt{h_2 / h_2'}}, \quad (2)$$

где I – интенсивность метановыделения в изолированном пространстве, м³/с.

Анализ последних публикаций показал, что отсутствие сравнительного анализа использования обоих методов не даёт возможности определить область применения каждого из них и, в свою очередь, не позволяет надёжно оценивать качество изоляции аварийного участка.

Цель работы – определение области применения каждого из интегральных методов определения утечек воздуха путём их сравнения в разных горно-геологических условиях.

Изложение результатов исследований. В процессе выполнения работы оценивали степень влияния метановыделения внутри изолированного участка на вентиляционные параметры изолированного участка и на погрешность определения утечек воздуха существующим способом. Исследования выполнялись в два этапа.

На первом этапе исследования проводили аналитически по следующей методике:

- задавали значения аэродинамического сопротивления перемычек A и B (см. рис. 1), утечек воздуха через изолированный участок и метановыделения в нём;

- вычисляли значения депрессий перемычек, соответствующих принятым параметрам. Депрессию перемычки A определяли по формуле

$$h_1 = R_1 Q_{\text{ут}}^2, \quad (3)$$

где R_1 – аэродинамическое сопротивление перемычки A , Па·с²/м⁶;

- депрессию перемычки B определяли по формуле

$$h_2 = R_2 (Q_{\text{ут}} + I)^2, \quad (4)$$

где R_2 – аэродинамическое сопротивление перемычки B , Па·с²/м⁶;

- далее имитировали открывание трубы, проложенной через перемычку A . Последняя, вместе с открытой трубой, образует параллельное вентиляционное соединение. Общее их сопротивление вычисляли по формуле

$$R_1' = \frac{R_1}{1 + \sqrt{R_1 + R_{\text{тр}}}}, \quad (5)$$

где $R_{\text{тр}}$ – аэродинамическое сопротивление открытой трубы, Па·с²/м⁶;

- на основании известного закона вентиляционных сетей составляли уравнение движения воздуха через изолированный участок при открытой трубе. При этом было принято, что сопротивление изолированного пространства ничтожно мало по сравнению с сопротивлением изолирующих перемычек, а суммарная депрессия перемычек A и B остаётся постоянной, т.е.

$$R_1' Q_1^2 + R_2' (Q_1 + I)^2 = h_1 + h_2, \quad (6)$$

где Q_1 – расход воздуха через изолированный участок при открытой трубе в перемычке A , м³/с;

- из уравнения (6) находили значение расхода воздуха и вычисляли значение депрессий перемычек A и B при открытой трубе соответственно по формулам $h_1' = R_1' Q_1^2$ и $h_2' = R_2' (Q_1 + I)^2$;

- определяли расход воздуха в открытой трубе по формуле

$$q = \sqrt{h_1' / R_{тр}} ; \quad (7)$$

- по формуле (1) определяли утечки воздуха через изолированный участок, используя полученные значения параметров q , h_1 , h_2 , h_1' и h_2' .

По изложенной выше методике выполнены расчёты шести вариантов определения утечек воздуха по формуле (2), которые отличались только значением метановыделения, изменяющимся от 0 до 1,5 м³/с. Во всех вариантах были приняты следующие параметры изолированного участка: $R_1=400 \text{ Па}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$; $R_2=100 \text{ Па}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$; $R_{тр} = 400 \text{ Па}\cdot\text{с}^2/\text{м}^6$; $Q_{ут} = 1 \text{ м}^3/\text{с}$.

Результаты расчётов по формуле (1) приведены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты определения утечек воздуха по существующему методу

Метановыделение, м ³ /с	Депрессия перемычек, Па				Расход в трубе, м ³ /с	Утечки воздуха, м ³ /с		Погрешность, %
	при закрытой трубе		при открытой трубе			расчетные	фактические	
	h_1	h_2	h_1'	h_2'				
0	400	100	250	250	0,79	1,00	1,0	0
0,2	400	144	240	306	0,77	1,03	1,0	13
0,5	400	225	225	400	0,75	1,28	1,0	28
0,8	400	324	205	498	0,73	1,37	1,0	37
1,0	400	400	207	595	0,72	1,44	1,0	44
1,2	400	484	202	686	0,71	1,50	1,0	50
1,5	400	625	196	841	0,70	1,54	1,0	54

Из приведенных в табл. 1 данных следует, что при увеличении метановыделения от 0,2 до 1,5 м³/с погрешность увеличивается от 13 до 54 %. По сути, существующий метод определения утечек воздуха пригоден для негазовых шахт или шахт с небольшим метановыделением.

На втором этапе осуществляли проверку нового метода путём компьютерного моделирования вентиляционной сети шахты (рис. 2). Свежий воздух на проветривание очистных забоев подаётся по цепочке наклонных выработок 1-2-4-10, отработанный воздух из шахты выводится также по цепочке выработок 7-5-3-14. На шахте имеются две лавы: восточная (12-8) и западная (9-6). Выемочный участок западной лавы из-за пожара изолирован двумя перемычками *A* и *B*. Газовыделение в западной лаве моделировалось высоконапорным источником тяги B_2 и ветвью 31-9, обладающей большим аэродинамическим сопротивлением. Это позволяет сделать интенсивность

метановыделения независимой от режима проветривания изолированного участка.

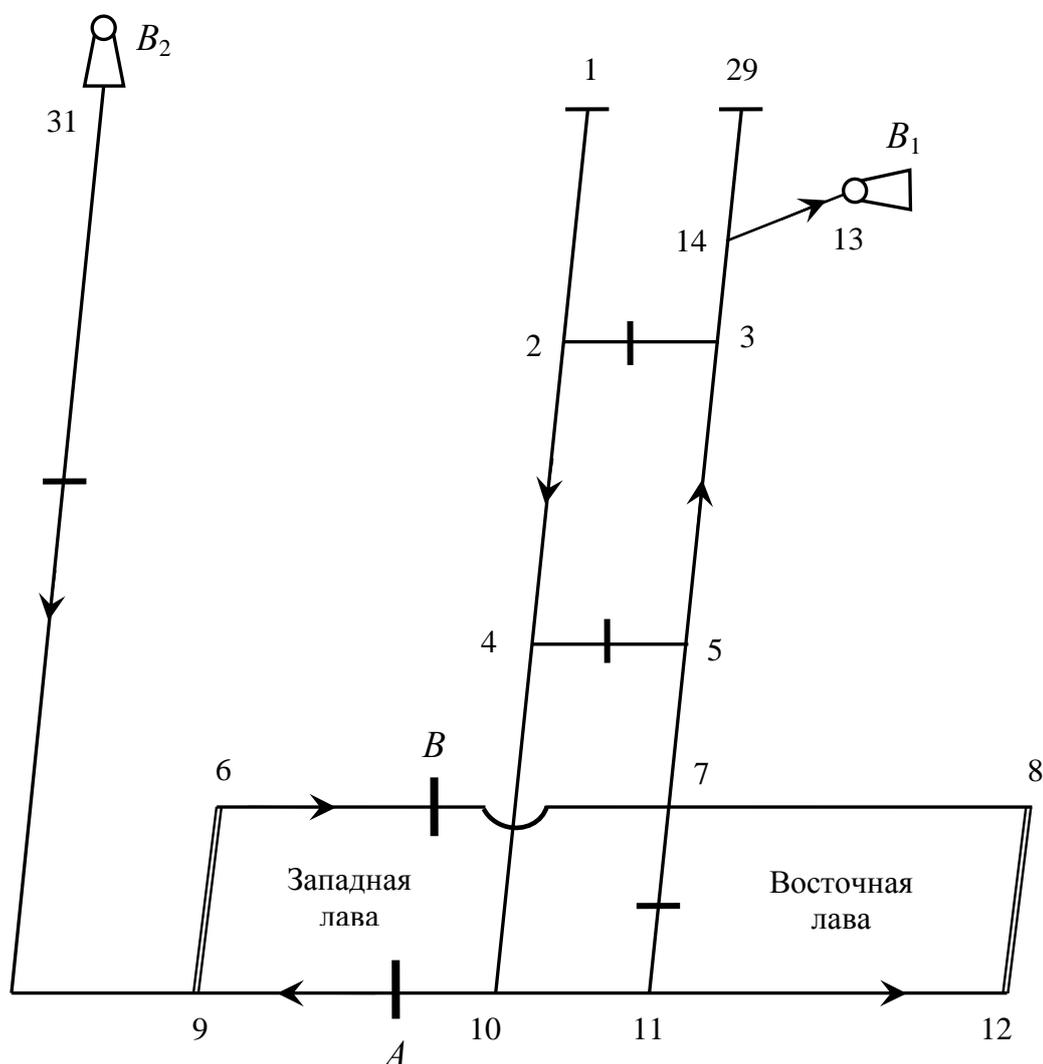


Рис. 2. Компьютерная модель вентиляционной сети шахты:

B_1 и B_2 – высоконапорные источники тяги; A и B – перемычки

Было промоделировано несколько вариантов, в которых интенсивность метановыделения изменяли ступенчато от 0,27 до 1,02 м³/с. Остальные параметры оставались постоянными.

При моделировании каждого варианта осуществляли следующее:

- устанавливали интенсивность газовыделения I путём регулирования значения аэродинамического сопротивления ветви 31-9;
- фиксировали значения депрессий перемычек A (h_1) и B (h_2) и значение утечек воздуха через изолированный участок $Q_{ут}$;
- моделировали открывание трубы, проложенной через перемычку A , и фиксировали новые значения депрессий h'_1 и h'_2 , а также расход воздуха в трубе q ;

• по полученным данным вычисляли значения утечек воздуха по формулам (1) и (2), которые сравнивали с фактическим значением $Q_{ут}$, полученным в результате моделирования.

Основные результаты моделирования приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика методов определения утечек воздуха

Метано-выделение, м ³ /с	Определение утечек воздуха, м ³ /с			Погрешность, %	
	компьютерным моделированием	по формуле (1)	по формуле (2)	формулы (1)	формулы (2)
0,27	1,30	1,39	1,30	6,9	0
0,52	1,15	1,29	1,15	11,3	0
0,70	1,04	1,19	1,04	14,4	0
0,85	0,94	1,08	0,94	14,9	0
0,90	0,90	1,06	0,91	17,8	1,1
0,95	0,87	1,02	0,87	17,2	0
1,02	0,82	0,95	0,82	15,5	0

Из приведенной таблицы видно, что в рассмотренных случаях максимальное значение погрешности составляет: при применении существующего метода определения утечек воздуха 17,8 %, при применении нового 1,1 %. Причём погрешность существующего метода увеличивается с ростом метановыделения.

Выводы

- Метановыделение, происходящее в изолированном участке, существенно влияет на его вентиляционные параметры.
- Существующий метод определения утечек воздуха через изолированные пожарные участки подходит для шахт, не опасных по газу, или шахт с небольшой интенсивностью метановыделения.
- Разработанный новый интегральный метод определения утечек воздуха через изолированные пожарные участки следует применять на метанообильных шахтах.

Список литературы / References

1. Пашковский П.С. Проветривание шахт при подземных пожарах / П.С. Пашковский, В.И. Лебедев. – Донецк: Арпи, 2012. – 448 с.
Pashkovsky, P.S. and Lebedev, V.I. (2012), *Provetrivanie shakht pri podzemnykh pozharakh* [Ventilation of mines by underground fires], Arpi, Donetsk, Ukraine.

2. Устав ГВГСС по организации и ведению горноспасательных работ. – Киев, 1997. – 453 с.

Ustav GVGSS po organizatsii i vedeniiu gornospasatelnykh rabot [Regulations of the State Para-military Mine-rescue Service on organization and carrying-out the mine-rescue operations] (1997), Kiev, Ukraine.

3. Лебедев В.И. Определение утечек воздуха через изолированные пожарные участки в метанообильных шахтах / В.И. Лебедев, Ю.Н. Перехрест // Уголь Украины. – 2014. – № 3. – С. 27 – 28.

Lebedev, V.I. and Perekhrest, Yu.N. (2014), *Opredelenie utechek vozdukha cherez izolirovannye pozharnye uchastki v metanoobilnykh shakhtakh* [Determination of air losses through the isolated fire districts in the methane abundant mines], *Ugol Ukrainy*, no. 3, pp. 27-28.

*Рекомендовано к публикации канд. техн. наук И.Ф. Марийчуком.
Дата поступления рукописи 10.06.2014*

Ціль. Установлення сфери застосування двох інтегральних методів визначення витоків повітря (чинного і нового) шляхом їхнього порівняння в різних гірничо-геологічних умовах.

Методика. У процесі виконання роботи оцінювали ступінь впливу метановиділення усередині ізольованої дільниці на вентиляційні параметри ізольованої дільниці й на погрішність визначення витоків повітря інтегральними методами. Дослідження виконували аналітично і шляхом комп'ютерного моделювання шахтної вентиляційної мережі.

Результати. Проведені дослідження показали, що: метановиділення, що відбувається в ізольованій дільниці, істотно впливає на його вентиляційні параметри, на підставі яких інтегральними методами розраховують витоків повітря; існуючий метод визначення витоків повітря через ізольовані пожежні дільниці придатний для шахт, безпечних по газу, або шахт із невеликою інтенсивністю метановиділення; розроблений новий інтегральний метод визначення витоків повітря через ізольовані пожежні дільниці варто застосовувати на шахтах з великим вмістом метану.

Наукова новизна. Новий інтегральний метод визначення витоків повітря через ізольовані пожежні дільниці враховує інтенсивність метановиділення в ізольованому просторі.

Практична значущість. Розроблений метод забезпечує високу точність визначення витоків повітря через ізольовану пожежну дільницю, що дозволяє оцінити ефективність зведення ізоляційних споруджень, особливо на шахтах з великим вмістом метану.

Ключові слова: шахта, пожежа, гасіння пожежі, ізолювання, витік повітря, метан.

Purpose. Ascertainment of the sphere of application of two integral methods of determination of air losses (acting and new methods) by means of their comparison under various mining-and-geological conditions.

Methodology. In the process of fulfillment of the work the degree of influence of methane release within the isolated district on the ventilation parameters of the isolated district and on the error of determination of the air losses with the integral methods was estimated. The investigations were carried out analytically and by means of the computer modeling of the mine ventilation network.

Results. The investigations carried out have shown that methane release occurring in the isolated district influences essentially on its ventilation parameters on which basis the air losses are calculated by the integral methods; the existing method of determination of the air losses through the isolated fire districts is suitable for the mines that are not gas-hazardous or for the mines with the little intensity of methane release; the new integral method of determination of air losses through the isolated fire districts worked out should be applied in the methane abundant mines.

Scientific novelty. The new integral method of determination of air losses through the isolated fire districts takes into account the intensity of methane release in the isolated space.

Practical value. The method worked out taking into account the high accuracy of determination of the air losses through the isolated fire district allows estimating the efficiency of erection of isolation structures especially in the methane abundant mines.

Keywords: mine, fire, fighting the fire, isolation, air losses, methane.