РАЗДЕЛ XXI. ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Акимбекова Н.Н., Капшук А.М., Рахимберлина А.А., Халиева Д.М.
Исследование аэрогазовой ситуации в выработках выемочного участка

Карагандинский государственный технический университет
(Казахстан, Караганда)

doi: 10.18411/lj-06-2019-140

idsp: ljournal-06-2019-140

Аннотация

В данной статье исследования показали, что при возвратноточной схеме проветривания загазирование очистной выработки происходит на сопряжении с вентиляционной выработкой (со стороны выработанного пространства). Переход на прямоточную схему проветривания позволяет в 1,5-2,0 раза увеличить количество воздуха, подаваемое на участок, однако, вследствие утечек воздуха через обрушенный породный массив, зона загазирования перемещается к груди забоя.

Ключевые слова: горная выработка, газ метан, выемочный участок, выработанное пространство, схема проветривания, очистной забой.

Abstract

In this article, studies have shown that the gasification of the clearing generation takes place at the interface with the ventilation extension in the condition of the returnable ventilation pattern (from the mined-out space). The transition to the direct-flow ventilation scheme allows for 1.5-2.0 times increase the amount of air supplied to the plot, however, due to air leaks through the collapsed rock massif, the filling zone moves to the bottom of the open-hit bench.

Keywords: mine, methane gas, winning plot, mined-out space, ventilation pattern, wide open-hit bench.

Источниками поступления метана в выработки выемочного участка являются разрабатываемый пласт и выработанное пространство.

Для борьбы с загазированием выемочного участка и управления метановыделением в горные выработки, применяют различные схемы проветривания лавы, дегазацию разрабатываемого пласта, пластов-спутников, вмещающих пород и выработанного пространства, изолированный отвод метана из опасных по загазированию зон. Схемы проветривания, применяемые в угольных шахтах, можно разделить на две группы: прямоточные и возвратноточные. Недостаток возвратноточной схемы проветривания заключается в том, что загазирование происходит в очистной выработке. Частота загазирования при этом была столь высокой, что фактическая нагрузка на лаву не превышала 40-45 % от расчетной. Загазирование происходило преимущественно в зоне, которая примыкала к сопряжению лавы с вентиляционной выработкой. Анализ статистических данных показал, что в этой зоне происходило от 71 до 89 процентов всех загазирования в лаве.

Существенно улучшается аэрогазовая обстановка на добычном участке при переходе на прямоточную схему проветривания. При такой схеме на участок подается в 1,7-2,4 раза воздуха больше, чем при возвратноточной схеме проветривания. Исследования показали, что с увеличением глубины разработки пластов, повышением нагрузки на лаву, загазирования очистных выработок, а также поддерживаемых в выработанном пространстве, стали происходить все чаще. При прямоточной, с подсыжением, схеме проветривания зона загазирования в лаве перемещается в сторону

груды очистного забоя. Это связано, в первую очередь, с аэродинамическими параметрами выработанного пространства. Как показал анализ экспериментальных данных, опасная по метану зона возникает в лаве в тех случаях, когда выработанное пространство обладает высокой воздухопроницаемостью. При этом линии токов воздушного потока в очистной выработке отклоняются в сторону выработанного пространства. Вследствие этого, скорость движения воздуха в призабойной части лавы сильно падает. Из-за этого не происходит достаточно эффективного разбавления метана, выделяющегося из пласта и отбитого угля, до безопасной концентрации. Недостатком прямоточной, с подсвежением, схемы проветривания является возникновение опасной по загазированию зоны у груди забоя, вблизи сопряжения лавы и поддерживаемой конвейерной выработки, по которой подается подсвежающий поток воздуха.

Проведенные газоздушные съемки в 14-ти очистных забоях (каждая из которых проветривалась по прямоточной, с подсвежением, схеме проветривания) показали, что зона загазирования образуется в 10-30 м от сопряжения лавы с поддерживаемой выработкой. Чем больше объем утечек воздуха из лавы, тем длиннее и шире зона загазирования (имеется ввиду зона, где концентрация метана в атмосфере лавы превышает 1%). В некоторых случаях длина зоны загазирования достигает 12-14 м.

Измеренные значения концентрации метана в зоне загазирования C_r , на расстоянии 40 см от груди забоя 44 к₁₄-3 шахты "Актасская" достигали 4,3-6,5 % (таблица 1). Колебания содержания метана в воздухе происходили из-за процессов, связанных с неравномерностью метановыделения из пласта и пульсацией аэродинамических потоков в лаве.

Таблица 1

Результаты измерения содержания метана C_2 в лаве 44 к₁₄-3 шахты «Актасская», %

Расстояние по нормали до почвы лавы, м	Расстояние по нормали до груди забоя, м	Расстояние до сопряжения лавы с поддерживаемой выработкой, м					
		5	10	15	20	25	30
0,4	0,4	1,7	6,5	4,8	2,1	0,5	0,5
	0,3	0,9	2,4	2,1	0,7	0,5	0,2
	1,2	0,2	1,1	0,9	0,4	0,3	0,1
	1,6	0,1	0,4	0,3	0,3	0,2	0,1
0,8	0,4	1,2	3,9	2,5	1,5	0,3	0,1
	0,8	0,7	1,9	1,6	0,5	0,2	—
	1,2	0,2	0,3	0,2	0,1	0,1	—
	1,6	—	—	—	—	—	—
1,2	0,4	0,9	5,0	4,3	0,9	0,2	0,2
	0,8	0,4	3,0	2,4	0,5	0,1	0,1
	1,2	0,1	0,9	0,6	0,4	0,1	—
	1,6	—	0,2	0,1	0,2	—	—

Из приведенных данных видно, что в средней части лавы (по высоте) концентрация метана минимальная. На высоте 1,2 м концентрация метана несколько выше средней. Это объясняется тем, что метан легче воздуха и поэтому вытесняется к кровле выработки. В данном случае вынимаемая мощность пласта составляла 1,55 м, поэтому верхние точки, где производились измерения, находились на расстоянии 20 см от козырьков секций механизированной крепи. Сопоставляя данные по газовой динамике с данными по аэродинамике очистного забоя, получили, что для срыва

метана с поверхности угольного массива минимальная скорость воздуха у груди забоя должна быть не менее 1,4 м/с.

Чтобы обеспечить такую скорость у груди забоя, в зоне загазирования, в зависимости от утечек через выработанное пространство, в лаву необходимо подавать воздух, из расчета средней скорости 8 - 11 м/с. Это почти в 2,5 раза превышает допустимую скорость воздуха в лаве.

Рассмотрим утечки воздуха через выработанное пространство лавы Q_{yt} при прямоточной (а) и возвратноточной (б) схемах проветривания выемочного участка. Обозначим количество поступающего в лаву воздуха через Q_1 . Функция расхода воздуха в лаве $Q(y)$ с учетом фильтрации воздуха через выработанное пространство выразится уравнением:

$$Q(y) = Q_1 - \int_0^y q_{\phi\delta}(y) dy, \quad (1)$$

где y - координатная ось, направленная вдоль линии очистного забоя, м.
 $y \in [0, \ell_{\hat{\gamma}}]$;

$\ell_{\hat{\gamma}}$ - длина лавы, м;

$q_{yt}(y)$ - функция удельных утечек воздуха через выработанное пространство от y , м/с².

Из (1) следует, что $q_{\phi\delta}(\delta) = \partial Q(y) / \partial y$. При прямоточной схеме проветривания:

$$\int_0^{\ell_{\hat{\gamma}}} q_{\phi\delta}(y) dy = \int_0^{\ell_{\delta\delta}} q_{\phi\delta}(\delta) d\delta = Q_{\phi\delta}, \quad (2)$$

где x - координата, направленная вдоль оси поддерживаемой выработки, м;

$\ell_{\delta\delta}$ - длина отработанной части выемочного участка, м;

$q_{yt}(x)$ - функция удельного притока воздуха в поддерживаемую выработку из выработанного пространства, м²/с;

$$q_{\phi\delta}(\delta) d\delta = \partial Q(x) / \partial x.$$

При возвратноточной схеме проветривания $\int_0^{\ell_{\hat{\gamma}}} q_{\phi\delta}(y) dy = 0$. Утечки воздуха Q_{yt} равны:

$$Q_{\phi\delta} = \int_0^{0,5\ell_{\hat{\gamma}}} q_{\phi\delta}(y) dy. \quad (3)$$

При составлении сетевой модели выемочного участка используют коэффициент утечек K_{yt} , который является интегральным показателем выработанного пространства и выражается через производительность сети:

$$K_{\phi\delta} = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_{\phi\delta}}. \quad (4)$$

Таблица 2

Выборка из экспериментальных данных расхода воздуха в лаве

Шахта (лава)	Схема проветривания*	Q(y), м ³ /с							
		y, м							
		20	40	60	80	100	120	140	160
"Долинская" (22 Д ₄ -Ц)	П	3,72	4,44	4,93	5,47	5,70	6,10	6,17	—
"Стаханов-ская" (23 К ₁₀ -Ю)	П	2,41	2,80	3,12	3,33	3,65	3,84	4,20	4,26
"Абайская" (40 К ₁₂ -В)	В	5,04	4,43	4,15	4,08	4,40	5,02	—	—
"Актасская" (42 К ₁₂ -В)	В	17,9	14,91	13,92	12,80	14,07	15,02	16,83	—

Статистическая обработка данных, полученных по 67 лавам, проветриваемым по схеме "П" (прямоточная) и 129 лавам, проветриваемым по схеме "В" (возвратноточная), позволила установить вид частных функций утечек Q_{yt} от влияющих параметров. При построении статистической модели утечек воздуха Q_{yt} в многофакторном пространстве частные функции $Q_{yt}(x)$, $Q_{yt}(y)$ строили с учетом (2) и (3). Выборка экспериментальных данных проецировалась на плоскости многофакторного пространства, а затем по фактору неопределенности устанавливался кортеж переменных. Иерархическая структура модели по схемам проветривания "П", "В" выглядела следующим образом:

$$Q_{\text{од}} = \{Q_1, Q_2, \ell_{\text{од}}, \ell_{\text{в}}, m_{\text{в}}, S_{\text{в}}, S_{\text{оч}}, \alpha\}, \quad (5)$$

где $m_{\text{в}}$ - вынимаемая мощность пласта, м;

$S_{\text{оч}}$ - площадь поперечного сечения очистной выработки, м²;

$S_{\text{в}}$ - площадь сечения поддерживаемой вентиляционной выработки, м²;

α - угол падения пласта, ...°.

Факторы $S_{\text{в}}$, α из многомерной статистической модели были исключены. Их частные функции искривляли поверхность отклика Q_{yt} таким образом, что это приводило к снижению показателя корреляционного отношения $r_k(i)$. Таким образом, при прямоточной схеме проветривания:

$$Q_{yt} = \prod_{i=1}^6 y_i^{\text{П}}, \quad (6)$$

$$\text{где } y_1^{\text{П}} = 1,593 \cdot Q_1^{0,708};$$

$$y_2^{\text{П}} = 0,820 + 3,33 \cdot 10^{-2} \cdot Q_2^{0,679};$$

$$y_3^{\text{П}} = 1 - e^{-5,96 \cdot 10^{-3} \cdot \ell_{\text{од}}};$$

$$y_4^{\text{П}} = 0,850 + 2,15 \cdot 10^{-2} \cdot \exp(1,23 \cdot 10^{-2} \cdot \ell_{\text{в}});$$

$$y_5^{\text{П}} = 0,249 + 0,286 m_{\text{в}};$$

$$y_6^{\text{П}} = \exp(-3,30 \cdot 10^{-2} \cdot S_{\text{оч}});$$

$$r_{\hat{e}}(6) = 0,846.$$

При возвратноточной схеме проветривания:

$$Q_{yt} = \prod_{i=1}^6 y_i^{\text{В}}, \quad (7)$$

$$\text{где } y_1^{\text{В}} = 1,077 \cdot Q_1^{0,334};$$

$$y_2^{\text{В}} = 1;$$

$$y_3^{\hat{a}} = \exp(1,458 \cdot 10^{-3} \cdot \ell_{\text{од}});$$

$$y_4^{\text{B}} = 1,14 \cdot 10^{-2} \cdot \ell_{\text{оч}}$$

$$y_5^{\hat{a}} = y_5^{\text{I}}; \quad y_6^{\hat{a}} = y_6^{\text{I}};$$

$$r_{\hat{e}}(6) = 0,793.$$

Расчеты Q_{YT} по формулам (6) и (7) и сравнение с экспериментальными данными показали хорошую сходимость результатов.

Полученные уравнения множественной регрессии позволяют находить частные функции удельных утечек воздуха из лавы $q_{\text{YT}}(y)$ и притоков в поддерживаемую выработку $q_{\text{YT}}(x)$ если в функциях $y_3^{\text{II}}, y_4^{\text{II}}, y_4^{\text{B}}$ граничные $\ell_{\text{отр}}$ и $\ell_{\text{I}+}$ заменить x и y , а затем продифференцировать полученные уравнения.

В результате установили, что при прямоточной схеме проветривания:

$$q_{\text{од}}(x) = q_{\text{од}}^{(1)} \hat{a}^{-0,006\hat{a}}, \quad (8)$$

$$q_{\text{од}}(\hat{o}) = q_{\text{од}}^{(2)} \hat{a}^{-0,012\hat{o}}, \quad (9)$$

$$\text{где} \quad q_{\text{од}}^{(1)} = \frac{0,006 Q_{\text{од}}}{\hat{o}_3^{\text{I}}}; \quad q_{\text{од}}^{(2)} = \frac{0,012(\hat{o}_4^{\text{I}} - 0,85) Q_{\text{од}}}{(\hat{o}_4^{\text{I}} - 0,87)}.$$

При возвратноточной схеме проветривания

$$q_{\text{од}}(\hat{o}) = q_{\text{од}}^{(3)} \left(1 - \frac{2\hat{o}}{\ell_{\text{I}+}} \right), \quad (10)$$

$$\text{где} \quad q_{\text{од}}^{(3)} = \frac{0,046 \cdot Q_{\text{од}}}{q_4^{\hat{a}}}.$$

Функции вида (8), (9), (10) могут быть использованы в аналитических исследованиях. Из (10) в частности следует, что при $y = 0,5\ell_{\text{I}+}$, $q_{\text{од}}(\hat{o}) = 0$. При $y > 0,5\ell_{\text{I}+}$ функция утечек меняет знак и воздух из выработанного пространства начинает поступать в лаву.

Данная статистическая модель утечек воздуха может быть использована только в пределах данного факторного пространства. При применении дополнительных мероприятий по снижению утечек воздуха через выработанное пространство, креплению и поддержанию выработок использование уравнений (6), (7) неправомерно. При исследовании и разработке технологии крепления и изоляции поддерживаемых выработок с применением твердеющих составов на основе синтетических смол было необходимо составить статистико-детерминированную модель утечки, которая дает возможность экстраполировать полученные результаты экспериментальных исследований.

1. Мякенький В.И. Математическая модель источников газовой выделения в выработанное пространство лавы // Упр. вентиляцией и газодинам. явлениями в шахтах. Новосибирск, 1979. - С.26-29.
2. Бойко В.А., Кременчупский Н.Ф. Основы теории расчета вентиляции шахт. - М.: Недра, 1978. - 280 с.
3. Акимбеков А.К. Статистико-детерминированное моделирование фильтрации жидкостей и газов через проницаемые горные породы. - Алматы: КазгосИНТИ, 1993. - 145 с.
4. Акимбеков А.К. Метановыделение из выработанного пространства лавы при прямоточной схеме проветривания // Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан-2030»: Труды международной научной конференции. – Караганда, 2001. – С.169-171.
5. Демин В.Ф., Акимбеков А.К., Демина Т.В. Выбор оптимальных параметров работы высокопроизводительных очистных забоев с обеспечением безопасного выполнения производственных процессов.- Караганда: Труды университета, 2005, №4.- С.26-28.