

УДК 622.831.325.3

Л.В. Сергиенко, Е.В. Гладкая

## РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ВО ВРЕМЯ ПЕРЕХОДА ОЧИСТНЫМ ЗАБОЕМ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО НАРУШЕНИЯ

Институт физики горных процессов НАН Украины,  
49600, г. Днепр, ул. Симферопольская, 2-а.

*Предложен способ определения газовой выделенности во время перехода очистным забоем геологического нарушения, а также при прогнозе газообильности подземных выемочных участков во время отработки угольных пластов. Способ позволяет осуществлять дифференцированный учет всех геологических нарушений, которые одновременно переходят очистной забой, что обеспечивает надежное определение суммарного ускорения динамики газовой выделенности и способствует повышению безопасности труда.*

**Ключевые слова:** метан, геологическое нарушение, малоамплитудная тектоника, породный массив.

Выделение метана из подрабатываемого угленосного массива является одним из главных факторов, осложняющих добычу угля и безопасное ведение очистных работ. На сегодня, для безопасного ведения горных работ применяются научно-обоснованные нормативные методики прогноза газообильности выемочных участков при отработке угольных пластов.

Известная нормативная методика [1] определения относительного газовой выделенности из подрабатываемых пород, которое приходится на тонну добытого угля, осуществляется двумя способами. Первый способ основывается на данных о газонасыщенности вмещающих пород, расположенных на расстоянии, которое не превышает 30-кратной мощности от разрабатываемого пласта. При этом достоверное определение газонасыщенности вмещающих пород технически трудно осуществить. Второй способ основывается на определении относительной метанонасыщенности по природной газонасыщенности разрабатываемого пласта. В отличие от первого способа учитываются все породные пласты, которые залегают между разрабатываемым пластом и верхней границей зоны метановых газов.

Основные недостатки рассмотренных способов состоят в том, что при определении газовыделения из подрабатываемых пород к рассмотрению принимается неодинаковое количество породных пластов, которые попадают в зону дегазации при их подработке. Использование разных исходных данных предопределяет получение таких конечных результатов расчета газообильности выемочных участков, которые сильно отличаются между собой.

При расчетах не учитываются объемы метана, который сорбированный рассеянным органическим веществом и рассредоточенный в породах. Также не учитываются геологические нарушения, которые являются дополнительным источником поступления газа в горные выработки.

Известный способ [2] включает оценку возможного газовыделения из пород кровли, которые находятся в зоне разгрузки от горного давления, при этом, объем метановыделения из подрабатываемых пород определяют по кривой изменения динамики газовыделения в скважины за период времени к достижению абсолютного ее максимума (например, в зоне геологического нарушения), как разница между общим количеством газа, который выделился из всех источников, расположенных в кровле разрабатываемого пласта и запасами газа, которые находятся в сближенных угольных пластах до подработки.

Таким образом, способ [2] включает измерение физических показателей массива на участке геологического нарушения и за его пределами и определение интенсивности газовыделения по соотношению физических показателей на участке геологического нарушения и за его пределами. Однако, недостатком известного способа является низкая надежность и высокая погрешность определения газовыделения, которые обусловлены необходимостью непосредственного измерения запасов газа в сближенных угольных пластах и максимума газовыделения из подрабатываемых пород. Надежность непосредственного измерения газовыделения из массива существенно страдает от трудно контролируемых потерь газа во время выполнения самого измерения. Так запаздывание момента начала измерения начальной скорости газовыделения, согласно стандартного метода, может достигать 2 минуты, а неудовлетворительная герметизация шпура во время измерения потока газа приводит к потерям газа, которые составляют 30 – 50%. Погрешность определения газовыделения возникает во время усреднения значений газовыделения, которые измеряют, и составляет  $\pm 55\%$ . Однако, отношение или разницу газообильности отдельных участков массива можно оценить и с помощью побочных физических параметров массива, например, его геометрических параметров нарушенности.

Задачей данной работы является разработка нового способа определения газовыделения во время перехода очистным забоем геологического нарушения, в котором, за счет использования зависимости динамики газовыделения от геометрических параметров геологических нарушений, обеспечивается повышение надежности прогноза метаносности в момент перехода от нетрогнутого массива в зону геологического нарушения, которое позволит повысить

безопасность отработки угольных газоносных пластов во время перехода очистным забоем геологического нарушения.

Способ определения газовыделения во время перехода очистным забоем геологического нарушения осуществляется путем распределения участка геологического нарушения на  $k$  частей, после чего определяют длину этих частей массива, в пределах которых показатели геологических нарушений являются постоянными [3]. Ввиду того, что очистной забой в один и тот же момент может пересекать несколько малоамплитудных нарушений, такой прием обеспечивает индивидуальный учет параметров каждого участка нарушения, который существенно снижает погрешность усреднения результатов измерений.

В пределах каждого участка нарушения массива измеряют среднее расстояние между соседними трещинами для каждой основной системы трещиноватости горного массива, а также минимальный угол между плоскостями основной системы трещиноватости геологического нарушения, которая не совпадает с наложением пород и основной техногенной системой трещиноватости, которая создается очистным забоем. После этого определяют ускорение динамики газовыделения  $\Pi$  по формуле:

$$\Pi = \frac{\sum_{i=1}^k \Pi_i l_i}{L} \quad (1)$$

где

$$\Pi_i = 1,1 \ln(2,75 p) \cdot (\cos \beta + 1) \quad (2)$$

$i$  – номер части, в пределах которой показатели нарушений являются постоянными;  $l$  – длина части, м;  $k$  – количество таких частей,  $L$  – длина очистного забоя, м

причем

$$p = \frac{\sqrt[3]{b_{10} b_{20} b_{30}}}{\sqrt[3]{b_1 b_2 b_3}} \quad (3)$$

$b_1, b_2, b_3$  – среднее расстояние между соседними трещинами первой, второй и третьей систем трещиноватости на участке геологического нарушения, м;

$b_{10}, b_{20}, b_{30}$  – среднее расстояние между соседними трещинами первой, второй и третьей систем трещиноватости за пределами геологического нарушения, м;

$\beta$  – минимальный угол между плоскостями основной системы трещиноватости геологического нарушения, которое не совпадает с наложением пород и основной техногенной системой трещиноватости, град;

1,1 – эмпирический коэффициент, м<sup>3</sup>/мин<sup>2</sup>.

Исследования показали, что ускорение газовыделения в зоне малоамплитудного нарушения пропорционально натуральному логарифму отношения блочности нетронутого массива  $p$  к блочности нарушенного (формула 3). Указанные соответствующие блочности определяются путем измерений среднего расстояния между соседними трещинами основных трех систем трещиноватости. Согласно геологическим стандартам, эти величины усредняются на основе статистических выборок данных, которые составляют от нескольких десятков до нескольких сотен. Это гарантирует величину погрешности в пределах 7 – 10%, с надежностью выше, чем 97%.

Экспериментально доказано, что интенсивность газовыделения при переходе малоамплитудного тектонического нарушения зависит не только от отношения блочности массива, но и от косинуса минимального угла между плоскостями основной системы трещиноватости геологического нарушения, которое не совпадает с наложением пород и основной техногенной системой трещиноватости. С физической точки зрения, такая зависимость учитывает два основных фактора, которые способствуют ускорению газовыделения при переходе малоамплитудного тектонического нарушения очистным забоем: геологический фактор, который учитывает интенсивность тектонической трещиноватости и фактор технологической трещиноватости, которая создается вокруг движущегося очистного забоя (формула 2).

Дальнейшее усреднение результатов измерений параметров геологической и технологической трещиноватости осуществляется с учетом длины каждого малоамплитудного нарушения (формула 1). Таким образом, суммарная погрешность усреднения результатов измерений не превышает 25 % с надежностью не меньше 95%, что гарантирует надлежащий уровень безопасности очистных работ в зонах малоамплитудных тектонических нарушений.

Для проверки эффективности предлагаемого способа были проведены экспериментальные исследования на выемочных участках шахты ПАО «ШУ «Покровское». В пределах поля шахты ПАО «ШУ «Покровское» разрабатывается угольный пласт  $d_4$ . Природная метаноносность пласт  $d_4$  составляет 12 – 20 м<sup>3</sup>/т с.б.м. Потенциально опасными источниками метановыделения являются пласты-спутники  $d_4^1$  и  $d_4^2$ , залегающие в подрабатываемой кровле пласта  $d_4$  на расстоянии 15-19 м и 24 – 35 м. Исследования проводились для следующих условий: длина лавы составляла 150 м. Лава переходила одно малоамплитудное тектоническое нарушение. Средние расстояния между соседними трещинами трех систем вокруг нарушения приведены в таблице 1. В нетронутом массиве они равнялись соответственно 4 см, 7 и 13 см. В пределах геологического нарушения длиной 42 м средние расстояния между соседними трещинами составило 4,2 и 13 см. Угол ориентации техногенной трещиноватости  $\alpha$  относительно вертикали определялся согласно зависимости [4]:

$$\alpha = 0,5 \arctg(\rho), \quad (4)$$

где  $\rho$  – угол внутреннего трения массива,  $\rho = 32$  град.

В горизонтальной плоскости линия нарушения была параллельной линии очистного забоя.

Таблица 1

**Результаты расчетов ускорения динамики газовыделения  
(лава переходила одно малоамплитудное тектоническое нарушение)**

Состояние массива	Среднее расстояние между соседними трещинами, м			Произведения значений $b$	Корни куб.	Длина исслед. части нарушения $l$ , м	Ускорение динамики газовыделения, м <sup>3</sup> /мин <sup>2</sup>	
	$b_{10}, b_1$	$b_{20}, b_2$	$b_{30}, b_3$				$\beta$ , град	$\Pi_i$
нетронутый массив	0,050	0,070	0,130	0,0004 6	0,077	45		
нарушение	0,040	0,020	0,130	0,0001 0	0,047	$\beta$ , град	$\Pi_i$	$\Pi$
				$\rho$	1,635	35	3,01	<b>0,903</b>

Минимальный угол  $\beta$  между плоскостями основной системы трещиноватости геологического нарушения, которое не совпадает с наслоением пород и основной техногенной системой трещиноватости, которая создается очистным забоем, определялся с помощью горного компаса. Для снижения погрешности определения указанного угла применяли стереографическую проекцию, на которую наносились углы и азимуты падения основной системы тектонической трещиноватости, а также техногенной системы. Косинус угла  $\beta$  определялся как произведение косинусов острых углов, которые представляют разницы между соответствующими углами систем трещин, которые сравниваются. Для указанного примера найдена величина ускорения газовыделения при переходе малоамплитудного тектонического нарушения, которое составило 0,903 м<sup>3</sup>/мин<sup>2</sup>.

Также, определение ускорения газовыделения осуществлялось для следующих условий: длина лавы составляла 120 м. Лава переходила через три малоамплитудные тектонические нарушения длиной 64, 16 и 14 м (таблица 2). Минимальные углы  $\beta$  между плоскостями основной системы трещиноватости геологического нарушения, которые не совпадают с наслоением пород и основной техногенной системой трещиноватости, которая создается очистным забоем, составляли соответственно 15, 75 и 40 градусов. Для приведенных условий ускорение газовыделения составило 2,33 м<sup>3</sup>/мин<sup>2</sup>.

Таблица 2

**Результаты расчетов ускорения динамики газовыделения  
(лава переходила три малоамплитудные тектонические нарушения)**

Состояние массива	Среднее расстояние между соседними трещинами, м			Производство $b$	Корни куб.	$\beta$ , град.	Длина исслед. части нарушения $l$ , м	Ускорение динамики газовыделения, $\text{м}^3/\text{мин}^2$
	$b_{10}, b_1$	$b_{20}, b_2$	$b_{30}, b_3$					
нетронутый массив	0,043	0,054	0,100	0,00023	0,061	-	-	
нарушение	0,020	0,025	0,080	0,00004	0,034	15	$l_1$	$\Pi_1$
				$p_1$	1,797		64	3,46
нетронутый массив	0,079	0,084	0,150	0,00100	0,100	-		
нарушение	0,060	0,060	0,140	0,00050	0,080	75	$l_2$	$\Pi_2$
				$p_2$	1,255		16	1,71
нетронутый массив	0,120	0,070	0,130	0,00109	0,103	-	-	
нарушение	0,100	0,060	0,130	0,00078	0,092	40	$l_3$	$\Pi_3$
				$p_3$	1,119		14	2,18
							$\Pi$	<b>2,33</b>

Следовательно, способ учитывает физические процессы газовыделения, которые происходят в момент перехода малоамплитудных нарушений: ускорение газовыделения растет с увеличением плотности геологических трещин, числа нарушений, их длины и уменьшением минимального (острого) угла между плоскостями основной системы трещиноватости геологического нарушения, которое не совпадает с наложением пород и основной техногенной системой трещиноватости, которая создается очистным забоем. Именно такая трещиноватость является основным проводником газа от угольных пластов-спутников и газоносных песчаников в рабочее пространство очистного забоя.

Таким образом, разработанный способ позволяет осуществить дифференцированный учет всех геологических нарушений, которые одновременно переходит очистной забой. Это обеспечивает надежное определение суммарного ускорения динамики газовыделения при низком уровне погрешности, которая не превышает 25%. Благодаря учету индивидуальных параметров каждого нарушения при высоком уровне достоверности (не менее 95%), данный способ позволит повысить безопасность отработки угольных газоносных пластов во время перехода очистным забоем геологического нарушения.

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт / под ред. С.В. Янко. – Киев: Основа, 1994. – 311 с.
2. Пат. К75821 Україна, E21F7/00. Спосіб випередженої дегазації порід покрівлі високонавантажених лав / А.Ф. Булат, Ю.Л. Звягільський, І.О. Єфремов [та інші]. – № 20041108929, опубл. 15.05.05, Бюл. № 5.
3. Способ определения газовыделения во время перехода очистным забоем геологического нарушения / В.В. Назимко, Е.В. Гладкая, Л.В. Сергиенко. – и 201612264; заявл. 13.12.2016, E21F7/00.
4. *Алексеев А.Д.* Предельное состояние горных пород / А.Д. Алексеев, Н.В. Недодаев. – Киев: Наукова думка, 1982. – 198 с.

*Л.В. Сергиенко, О.В. Гладка*

## **РОЗРОБКА СПОСОБУ ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОВИДІЛЕННЯ ПІД ЧАС ПЕРЕХОДУ ОЧИСНИМ ВИБОЄМ ГЕОЛОГІЧНОГО ПОРУШЕННЯ**

Запропонований спосіб визначення газовиділення під час переходу очисним вибоєм геологічного порушення, а також при прогнозі газоносності підземних виймальних ділянок під час відпрацювання вугільних пластів. Спосіб дозволяє здійснити диференційований облік усіх геологічних порушень, які одночасно переходить очисний вибій, що забезпечує надійне визначення сумарного прискорення динаміки газовиділення і сприяє підвищенню безпеки праці.

**Ключові слова:** метан, геологічне порушення, малоамплітудна тектоніка, породний масив.

*L.V. Sergienko, E.V. Gladkaya*

## **DEVELOPMENT OF A METHOD OF DETERMINING GAS DEPOSITS DURING THE TRANSITION OF THE COAL FACE OF GEOLOGICAL VIOLATION**

A method is proposed for determining gas release during the transition of a coal face to a geological disturbance, as well as for forecasting the gas mobility of underground excavation sites during the mining of coal seams. The method makes it possible to carry out a

differentiated account of all geological disturbances that simultaneously pass the cleaning face, which provides a reliable determination of the overall acceleration of the dynamics of gas evolution and contributes to the improvement of work safety.

**Keywords:** methane, geological imperfection, small-amplitude tectonics, rock mass.