

Д-р ф.-м. наук Э.П. Фельдман,  
д-р техн. наук Г.П. Стариков,  
канд. техн. наук Н.А. Калугина  
(ИФГП НАН Украины)  
инж. Ш.В. Мамлеев  
(ОП «Шахтерская-Глубокая»  
ГП «Шахтерскантрацит»)

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТАНООБИЛЬНОСТИ ПРИЗАБОЙНОЙ ЗОНЫ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ В ОЧИСТНЫХ ВЫРАБОТКАХ**

Викладено основні положення методу визначення фактичної метановості привибійної зони ділянок вугільних пластів, заснованих на урахуванні об'єму метану, що десорбується, з вугільних фракцій у замкнутий об'єм накопичувальної камери. Наведено приклад застосування методики.

## **METHODOLOGICAL BASIS FOR ESTIMATING METHANE CONTENT IN THE HEADING OF COAL LAYER IN THE FACES**

Main conceptions of the method for evaluating factual methane content in the heading of coal beds are presented. The method is based on calculation of methane volume desorbed from the coal fractions into the closed accumulative chamber. An example of application of the method is given.

Одним из факторов, осложняющих отработку газоносных угольных пластов, являются непрогнозируемые процессы метановыделения, приводящие нередко к загазированию забоев. Частота и размеры аварий, вызванных этим явлением, в последние годы, достигли критических значений и связаны, как правило, с взрыванием метана с групповыми несчастными случаями. Из 169 действующих шахт Украины 86% отнесены к опасным по газу, из них на 17 шахтах метановыделение превышает 100 м<sup>3</sup>/мин. Учитывая неизбежность, в настоящее время, подземной разработки газоносных угольных месторождений, ухудшения горно-геологических условий и роста нагрузок, приобретают высокую актуальность проблемы диагностики фактической газоносности призабойной зоны угольных пластов. Нормативные методы и средства по прогнозу характера и интенсивности газовыделения в шахтах из-за невысокой достоверности и низкой надежности эту проблему не решают.

Основным недостатком существующей методологии оценки фактической метанообильности горных выработок является использование усредненных значений основных параметров [1], в частности природной и остаточной метаносности угля, интенсивности метановыделения из угольного массива и разрушенного угля. В целом это приводит к определению среднего значения необходимого объема воздуха для проветривания выработок при заданном объеме добываемого угля и предельной концентрации метана в воздухе ( $C = 1\%$ ). В случае локального изменения (увеличения) метаносности и метановыделения, обусловленное природными факторами (геологическая нарушенность угля, мелкоамплитудные геологические нарушения пласта) при прочих равных усло-

виях (длина забоя, темп выемки угля, количество воздуха для проветривания, ширина призабойной зоны, фракционный состав угля), концентрация метана может резко возрасти и достигнуть опасных значений.

Для учета существующих недостатков необходимо отказаться от средних величин, а вместо них ввести текущие значения – давление метана в угле и эффективный коэффициент диффузии. При этом эти параметры необходимо контролировать специальным измерительным устройством [3, 6] на глубину суточного подвигания очистного забоя, что позволит учитывать локальные изменения структуры угля и его метаноносности и корректировать суточную нагрузку (глубину выемки угля) очистного забоя.

### 1. Расчет относительной метанообильности призабойной зоны угольного пласта

Согласно разработанной в ИФГП НАН Украины модели при отторжении угля от массива нарушается термодинамическое равновесие в системе природный уголь-газ. При этом газ из фильтрационного объема, представленного в виде открытых пор и трещин, за счет разности пластового и внешнего давлений устремляется наружу, в незанятый углем объем. Давление газа внутри угольного массива снижается, вследствие чего стартует процесс диффузии метана, содержащегося в блоках, в фильтрационный объем. Происходит фильтрация газа с одновременной подпиткой фильтрационного объема метаном, растворенным в блоках. Таким образом, блоки (микроблоки) (рис. 1) играют роль источников метана, распределенных по всему объему угля.

Отправной точкой для оценки метанообильности соответствующего участка угольного пласта являются результаты, приведенные в [2, 4-6]. Исходные данные, используемые при определении количества десорбирующегося метана из угля, представлены на рис. 1, 2.

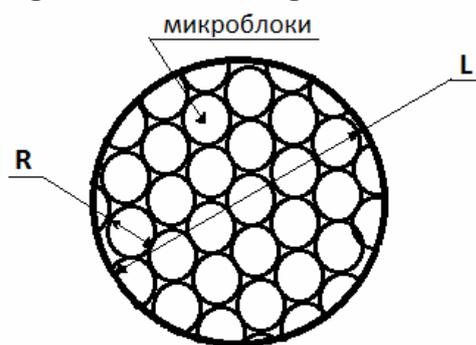


Рис. 1 – Модель частицы угольного вещества

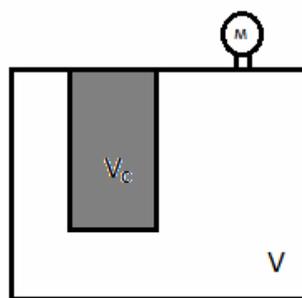


Рис. 2 – Схема герметичного контейнера с угольным веществом

Выход метана из угольных фракций одного типоразмера определяется формулами:

$$\rho_0 - \bar{\rho}(t) = \frac{\rho_0 \sqrt{tD_f}}{L\sqrt{\gamma_0 + \gamma_c + \nu}}, \quad c_0 - \bar{c}(t) = \nu(\rho_0 - \bar{\rho}(t)), \quad (1)$$

где  $t$  – время, отсчитываемое от момента отбора пробы из пласта,  $\rho_0$  – исходная плотность метана, содержащегося в порах угольного материала в свободном состоянии (в  $\text{м}^{-3}$ ),  $\bar{\rho}(t)$  – плотность свободного метана к моменту  $t$ ,  $\gamma_0$  – открытая пористость,  $\gamma_c$  – закрытая пористость,  $\nu$  – растворимость метана в угле,  $c_0$  – исходная концентрация метана, находящегося в виде твердого раствора в угольной матрице,  $\bar{c}(t)$  – та же концентрация к моменту времени  $t$ ,  $L$  – размер фракции угля,  $D_f$  – коэффициент фильтрации (массопереноса) метана из угля.

Формула (1) справедлива для фракций, удовлетворяющих неравенству:

$$a \equiv \frac{L}{R} \sqrt{\frac{D_{eff}}{D_f}} \gg 1, \quad (2)$$

где  $R$  – размер микроблоков угля,  $D_{eff}$  – эффективный коэффициент диффузии метана внутри микроблоков. Используя данные, приведенные в [4], можно установить, что для фракций с  $L \sim 0,1$  мм и более неравенство (2) удовлетворяется.

Введем «эффективную» пористость угля:

$$\gamma = \gamma_0 + \gamma_c + \nu, \quad (3)$$

Поскольку выход метана из пробы угля определяется уменьшением  $\rho_0 - \bar{\rho}(t)$  его плотности в порах и уменьшением концентрации  $c_0 - \bar{c}(t)$  в твердом растворе и, имея в виду, что поры занимают относительный объем  $\gamma_0 + \gamma_c$  получим, что к моменту  $t$  из объема пробы  $V_c$  выйдет следующее количество молекул метана:

$$N_t = \frac{\sqrt{\gamma} \rho_0 \sqrt{D_f t}}{L} V_c \quad (4)$$

Однако за время  $t_0$ , прошедшее от момента отбора пробы до момента загрузки угольного материала (фракции  $L$ ) в контейнер измерительного прибора, часть метана выйдет в атмосферу. В измерительный прибор попадет лишь часть  $N_m$  метана, вышедшего из пробы. Далее удобно через  $t$  обозначить время, прошедшее от момента загрузки угля в измерительный прибор. Тогда

$$N_t = \frac{\rho_0 \sqrt{\gamma D_f (t+t_0)}}{L} V_c, \quad N_m = \frac{\rho_0 \sqrt{\gamma D_f (t+t_0)}}{L} V_c - \frac{\rho_0 \sqrt{\gamma D_f t_0}}{L} V_c \quad (5)$$

Следовательно

$$\frac{N_m}{N_t} = \frac{\sqrt{t+t_0} - \sqrt{t_0}}{\sqrt{t+t_0}} = 1 - \sqrt{\frac{t_0}{t+t_0}} \quad (6)$$

Прибор измеряет парциальное давление метана  $P_c(t)$  в контейнере, в функции времени. Если объем контейнера равен  $V_k$ , то, согласно закону Бойля-Мариотта,

$$P_c(t)V_k = P_a V_a, \quad (7)$$

где  $P_a$  – атмосферное давление,  $V_a$  – тот объем, который занимает метан, содержащийся в контейнере, при атмосферном давлении.

Итак, в принятых на практике единицах количества газа, т.е. в м<sup>3</sup>, в измерительном сосуде к моменту  $t$  находится

$$V_a = \frac{P_c(t)}{P_a} V_k \quad (8)$$

кубометров метана. Всего же за время  $t_0 + t$  из угля, согласно (6), выйдет:

$$\frac{V_a(t)}{\left(1 - \sqrt{\frac{t_0}{t+t_0}}\right)} = \frac{P_c(t)}{P_a} \frac{V_k}{\left(1 - \sqrt{\frac{t_0}{t+t_0}}\right)} \quad (9)$$

кубометров метана.

Чтобы получить выход газа (в м<sup>3</sup>) из единицы объема, необходимо разделить  $V(t)$  на объем пробы  $V_c$ , а чтобы найти выход из единицы массы – еще разделить на плотность угля  $\rho_c$  (т/м<sup>3</sup>). В итоге, искомый выход  $Q(t)$ , в принятых на практике единицах (м<sup>3</sup>/т), таков:

$$Q(t) = \frac{P_c(t)V_k}{\rho_c P_a V_c \left(1 - \sqrt{\frac{t_0}{t+t_0}}\right)}, \quad (10)$$

Согласно теории [4] к моменту

$$t_e + t_0 \approx \frac{\gamma L^2}{D_f} \quad (11)$$

из угля выходит практически весь метан, и давление стабилизируется на определенном уровне  $P_e$ . Поэтому имеем следующую расчетную формулу для максимального выхода метана  $Q_{\max}$  (м<sup>3</sup>/т), т.е. для метанообильности:

$$Q_{\max} = \frac{P_e V_k}{\rho_c P_a V_c \left(1 - \sqrt{\frac{t_0}{t_e + t_0}}\right)} \quad (12)$$

Величины  $P_e$  и  $t_e$  измеряются непосредственно прибором.

Количество вышедшего к моменту  $t$  метана можно выразить так же и через пластовое давление по формуле:

$$Q(t) = \frac{P_{nl}}{\rho_c P_a} \frac{\sqrt{\gamma D_f (t + t_0)}}{L} \quad (13)$$

При  $t = t_e$  находим метанообильность

$$Q_{\max} = \frac{\gamma P_{nl}}{\rho_c P_a} \quad (14)$$

Эта формула вполне очевидна и без предыдущих рассуждений. Однако здесь, в отличие от (12), остается неизвестным «эффективная» пористость и пластовое давление.

## 2. Оценочный расчет метанообильности призабойной зоны пласта

Выполним оценочный расчет (по формуле 12) относительной метанообильности участков лав, расположенных в 25 м от конвейерного штрека на пластах  $h_6$ ,  $l_8$ , и  $K_3$ . Разведочные скважины для отбора угольных фракций 0,4-0,5 бурились на глубину 2,1 м по простиранию. Для измерений давления метана десорбирующегося из угольных фракций использовался десорбومتر ДС-03 [3]. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет метанообильности призабойной зоны угольных пластов

Пласт, забой, шахта	$P_e$ , Па	$V_k$ , см <sup>3</sup>	$\rho$ , т/м <sup>3</sup>	$\frac{P_a}{10^5}$ , Па	$V_c$ , см <sup>3</sup>	$t_0$ , мин	$t_e$ , мин	$Q$ , м <sup>3</sup> /т
$h_6$ – Смоляниновский, гор. 1300 м, $Q_{пр} = 20$ м <sup>3</sup> /т.с.б.м., 23 западная лава, шахта им. А.А. Скочинского	3995	520	1,35	1,0	10,0	5,0	24	3,1
$l_8$ , гор. 1042 м, $Q_{пр} = 20$ м <sup>3</sup> /т.с.б.м., 1 западная лава, шахта «Щегловская Глубокая»	5280	520	1,41	1,0	10,0	5,0	24	3,89
$K_3$ – Колпаковский, $Q_{пр} = 25$ м <sup>3</sup> /т.с.б.м., 12 западная лава, шахта «Коммунарская»	7220	520	1,44	1,0	10,0	5,0	24	5,21

Анализ представленных результатов свидетельствует, что метанообильность призабойной зоны в среднем не превышает 18,5 % от природной газоносности пласта.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. - Киев: Основа, 1994.-312 с.
2. Алексеев А.Д. Диффузионно-фильтрационная модель выхода метана из угольного пласта / А.Д. Алексеев, Э.П. Фельдман, Т.А. Василенко [и др.] // Журнал технической физики. - 2007. - т. 77. - Вып.4. - С. 65-74.
3. Каркашадзе Г.Г. Совершенствование методики расчета нагрузки на очистной забой с учетом давления метана в угольном пласте / Г.Г. Каркашадзе, А.Д. Алексеев, Г.П. Стариков [и др.] // Горный журнал. - 2009. - № 4. -С. 47-50.
4. Фельдман Э.П. Истечение метана из угля в замкнутый резервуар: роль явлений диффузии и фильтрации / Э.П. Фельдман, Т.А. Василенко, Н.А. Калугина // Физика и техника высоких давлений. - Донецк. - 2006- т. 16, № 2.- С. 99 -114.
5. Алексеев А.Д. Прогноз времени образования опасных концентраций метана в очистных забоях / А.Д. Алексеев, Э.П. Фельдман, Г.П. Стариков [и др.] // Уголь Украины, № 7. – 2010. – С. 29-32.
6. Стариков Г. П. Кинетика массопереноса метана при очистной выемке угольных пластов / Г.П. Стариков, Ш.В. Мамлеев // Наукові праці УкрНДМІ НАН України - № 10. – 2012. – С. 271-278.

**УДК 622.416.3:622.457**

Д-р техн. наук Г.П. Стариков  
(ИФГП НАН Украины)  
д-р техн. наук Д.М. Житленок  
(ГП «Дзержинскуголь»  
инж. Шажко Я.В.  
(ИФГП НАН Украины)

### **ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБУ І ПОРТАТИВНОГО ПРИСТРОЮ ДЛЯ ПРОГНОЗУ ГАЗОНОСНОСТІ ВУГІЛЛЯ В ШАХТІ**

В статье описаны теоретические исследования и получены формулы для определения давления и количества метана в угле на основе учета объема десорбированного метана в герметичный сосуд.

### **DESCRIPTION OF METHOD OF AND PORTABLE DEVICE FOR PREDICTING GAS CONTENT IN THE COAL MINE**

The article describes theoretical findings on and presents formulas for determining methane pressure and quantity in the coals with taking into account methane volume desorbed into the sealed vessel.

Существующие методы и средства [1-8] по прогнозу характера и интенсивности газовыделения в шахтах из-за невысокой достоверности и низкой надежности данную проблему не решают. Обусловлено это в первую очередь недостаточной степенью изученностью процессов массопереноса метана в трещиновато-пористой структуре угля.

Ввиду отсутствия физически достоверной модели десорбции метана из угольного вещества не разработаны надежные экспресс-методы и технические средства для определения давления и метаноносности непосредственно в призабойной зоне угольных пластов.

Поэтому целью работы является научное обоснование и разработка способа и портативного устройства для повышения достоверности и возможностей экспресс-прогноза опасности труда в забоях по газовому фактору, что является актуальной задачей и имеет важнейшее научное, народно-хозяйственное и социальное значение.