

## 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.

Для разработки экспресс-метода определение количества метана в призабойной зоне угольного массива важно знать о его потенциальной метаноносности, зависящей, при прочих равных условиях, от давления сорбционного равновесия и фильтрационных диффузионных параметров угля.

В исследованиях использована физическая модель угольного вещества, включающая трещины, соединенные с открытыми порами (фильтрационный объем) и закрытые поры. Вся трещиновато-пористая система заполнена метаном. Десорбция газа из такой модели начинает происходить при нарушении термодинамического равновесий, связанных с разгрузкой от горного давления. При этом газ из фильтрационного объема за счет разности давления сорбционного равновесия и внешнего газа выделяется в окружающую среду в объеме до 30% газоносности пласта.

После выхода части газа из фильтрационного объема и стабилизации давления на уровне атмосферного начинается процесс истечения основного объема газа из блоков по механизму диффузии. Процессы фильтрации и диффузии газа из блоков сферической формы радиусом  $R$  описываются уравнением Дарси. Применительно к поставленной задаче учитываются процессы истечения метана из угольных частиц одного фракционного состава [9] (рис. 1) в герметичный контейнер объемом  $V$  (рис. 2).

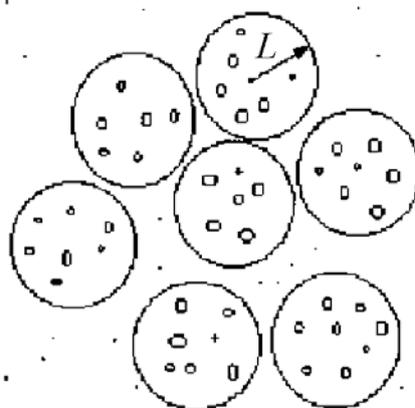


Рис. 1 - Схематическое изображение угольного вещества, находящегося в замкнутом объеме, где  $L$  – размер частицы угля

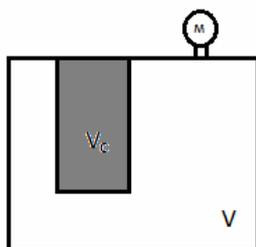


Рис. 2 - Схема герметичного контейнера с углем

Суммарный объем, занимаемый гранулами угля, обозначают  $V_c$ . В начальный момент при загрузке угля плотность метана в фильтрационном объеме

равна  $\rho_0$ . Согласно общей модели десорбция метана, газ из фильтрационного объема угля устремляется в свободный объем камеры за время  $t_f = \frac{L^2}{D_f}$ , где  $D_f$

– коэффициент фильтрации. При этом давление газа внутри микроблоков, составляющих внутренний объем угольных частиц, снижается, и стартует процесс диффузионного массопереноса сорбированного метана в фильтрационный объем. Время диффузии метана составляет  $t_d = \frac{R^2}{D_e}$ , где  $D_e$  – эффективный ко-

эффициент диффузии. Таким образом, происходит фильтрация газа из угольных фракций с одновременной подпиткой фильтрационного объема угля метаном, растворенным в микроблоках.

Изменения плотности метана в фильтрационном объеме описывается формулой, приведенной в [9]

$$\rho_0 - \bar{p}(\tau) = \frac{\rho_0 \sqrt{\tau}}{a \sqrt{\gamma_0 + \gamma_c}} \quad (1)$$

где  $a = \sqrt{\frac{t_f}{t_d}} = \frac{L}{R} \sqrt{\frac{D_e}{D_f}}$  – безразмерный параметр задачи;  $\gamma_0$  – открытая пористость;

$\gamma_c$  – закрытая пористость;  $\rho_0$  – исходная плотность метана в фильтрационном объеме;  $\bar{p}(\tau)$  – плотность метана в фильтрационном объеме в момент времени  $\tau$ , отсчитываемый от момента отделения пробы от пласта;  $\tau$  – безразмерное время,

$$\tau = \frac{t}{t_d}.$$

Перепишем формулу (1) в размерных обозначениях. Кроме того, введем  $t_0$  – время от момента взятия пробы до момента герметизации контейнера и  $t$  – время от момента герметизации контейнера до окончания процесса измерения. Тогда

$$\rho_0 - \bar{p}(\tau) = \frac{\rho_0 \sqrt{t + t_0}}{\sqrt{t_f \gamma}}, \quad (2)$$

где  $\gamma = \gamma_0 + \gamma_c$  – суммарная (полная) пористость угля.

Количество метана, вышедшее из угля к моменту  $t_0$ , равно  $\frac{\gamma \rho_0 \sqrt{t_0}}{\sqrt{t_f \gamma}} V_c = \rho_0 \sqrt{\frac{\gamma_0}{t_f}} V_c$ , где  $V_c$  – объем, занимаемый угольным веществом.

Количество метана, вышедшее из угля к моменту  $t + t_0$ , равно  $\rho_0 \sqrt{\frac{\gamma(t + t_0)}{t_f}} V_c$ ; следовательно, количество молекул метана в контейнере будет равно

$$\rho_0 \sqrt{\frac{\gamma(t+t_0)}{t_f}} V_c \left( 1 - \sqrt{\frac{t_0}{t_0+t}} \right).$$

Согласно уравнению состояния газа, его формальное давление в герметичном контейнере с учетом,  $P_{nl} = \rho_0 T$  составит:

$$P_c = P_{nl} \frac{V_c}{VL} \sqrt{\gamma D_f (t+t_0)} \left( 1 - \sqrt{\frac{t_0}{t_0+t}} \right) \quad (3)$$

К моменту  $t_e$  окончания процесса десорбции метана из угля его давление в контейнере, для угольного штыба одного гранулометрического размера состава:

$$P_c = P_{nl} \frac{\gamma V_c}{V} \left( 1 - \sqrt{\frac{t_0}{t_0+t}} \right). \quad (4)$$

Формула (4) справедлива при условии  $\frac{V_c}{V} < 1$  и  $\sqrt{\frac{t_e+t_0}{t_d \gamma}} \leq 1$ .

Используя представленную методологию, получена расчетная формула для оценки метаноносности призабойной зоны угольного пласта

$$Q_{\max} = \frac{P_c V}{\rho_c P_a V_c \left( 1 - \sqrt{\frac{t_0}{t+t_0}} \right)} \quad (5)$$

Величины  $P_c$  и  $t$  измеряются непосредственно прибором.

Оценочный расчет для условий пласта  $l_4$  «Шахта Комсомолец Донбасса», выполненный по результатам измерения десорбции метана в накопительную кювету из угольных проб с размером фракций 0,4-0,5 мм, отобранных из шпуров диаметром 42 мм с глубины 4 м пробуренных в 20 м от нижней ниши и параметром портативного измерителя  $V=400 \text{ см}^3$ ,  $V_c=12 \text{ см}^3$ ,  $\rho=1,4 \text{ т/м}^3$ ,  $P=9500 \text{ Па}$ ,  $P_a=10^5 \text{ Па}$ ,  $t_0=5 \text{ мин}$ ,  $t=30 \text{ мин}$  показал, что газоносность угля не превышает  $Q_{\max}=6,4 \text{ м}^3/\text{т}$ , при давлении  $P_{nl}=4,7 \text{ МПа}$ .

**Выводы:**

В результате выполненных теоретических исследований получены расчетные формулы для определения давления и количества метана в угле, на основе учета объема десорбирующего метана из угольных фракции в накопительную емкость.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Янас Х. Определение газоносности угля в забое при помощи десорбометра. / Х. Янас. — Глюкауф, 1976. - № 20 - С. 12-15.
2. Айруни А.Т. Аппаратура для регистрации быстропротекающих процессов изменения концентрации метана / А.Т. Айруни, М.Г. Гусев, В.Н. Медведев // Безопасность труда в промышленности. – 1984. – № 7. – С. 35-37.
3. Правила безпеки у вугільних шахтах. ДНАОП 1.1.30-1.01-00. – Київ, 2001. – 495 с.

4. Руководство по определению сорбционной метаноемкости природного угля объемным методом с применением промежуточных емкостей для сжатого газа на установке ЯМР им. А.А. Скочинского. – М.: ИГД им. А.Д. Скочинского, 1977. – 28с.
5. Скляр П.А. Определение метаноносности угольных пластов расчетным методом / П.А. Скляр, Р.М. Кривицкая, Г.В. Струковская // Уголь Украины - 1982. - №7 – С.37-39.
6. Фертельмейстер Я.И. Определение давления газа в призабойной части пласта / Я.И. Фертельмейстер // Бюл. МакНИИ, 1958 - № 8.
7. Инструкция по определению и прогнозу газоносности угольных пластов и вмещающих пород при геологоразведочных работах М.: Недра, 1977. – 96 с.
8. Радченко С.А., Матвиенко Н.Г. Способ определения выбросоопасных зон и газоносности угольных пластов в призабойной зоне. - Патент России № 2019706, МКИЕ 21 F 5/00. 15.09.1994, Б. И. № 17.
9. Алексеев А.Д. Физика угля и горных пород / А.Д. Алексеев.- Киев: Наукова думка. – 394с.

**УДК 539.3:622.831.**

Д-р техн. наук В.Н. Ревва,  
канд. техн. наук В.В. Васютина  
(УкрНИИМИ НАН Украины)

### **ГЕОМЕХАНИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗА ПРЕДЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ГОРНОГО МАССИВА НАД ВЫРАБОТАННЫМ ПРОСТРАНСТВОМ**

Запропонована геомеханічна модель оцінки та прогнозу граничного стану гірського масиву над виробленим простором при консервації вугільних шахт.

### **GEOMECHANICAL MODEL FOR EVALUATING AND FORECASTING LIMIT CONDITION OF THE ROCK MASSIF OVER THE GOAF**

The author proposes a geomechanical model for estimating and forecasting limit condition of the rock over the goaf when the mine is prepared for the preservation.

При эксплуатации и консервации угольных шахт вся геологическая толща горных пород, находящаяся над выработанным пространством, подвержена воздействию различных факторов, видимым проявлением которых является сдвигание земной поверхности.

Важнейшей проблемой геомеханики является оценка и прогноз устойчивости горных выработок и массива горных пород над ними, которые определяют способы управления горным давлением, типы выемочного оборудования, характеристики, схемы расположения и передвижения крепи, а при консервации угольного предприятия, прежде всего сдвигания земной поверхности.

Вопросы устойчивости непосредственно связаны с деформированием и разрушением горных пород, которые в отличии от других твердых тел, имеют свои специфические особенности, связанные, прежде всего с дефектностью структуры (трещины, поры), неоднородностью (слоистость) и гетерогенностью (присутствие флюидов) среды. Изменение деформационных и прочностных свойств горных пород определяет устойчивость горного массива.

В настоящей работе предлагается геомеханическая модель оценки и прогноза предельного состояния горного массива, находящегося над выработанным пространством при консервации угольной шахты, основанная на положениях механики разрушения.