

УДК 622.831:537.86

Н.А. Калугина

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПА РАБОТЫ ДОБЫЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА СКОРОСТЬ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Институт физики горных процессов НАН Украины

*Установлены закономерности газовыделения с поверхности очистного забоя в зависимости от физических свойств угля и скорости подвигания лавы, в том числе в случае аварийной ситуации при прекращении проветривания.*

**Ключевые слова:** уголь, метан, очистной забой, безопасная работа, мощность вентиляции, аварийная ситуация

Нагрузка на очистной забой является важным фактором, оказывающим решающее влияние на технико-экономические показатели работы участка в целом. С ростом нагрузки существенно снижается себестоимость добычи угля и повышается производительность труда. Следовательно, необходимо стремиться к тому, чтобы обеспечить на забой максимально возможную нагрузку, которая, однако, может ограничиваться производительностью выемочных машин, нормативной нагрузкой на забой и условиями проветривания по газовому фактору.

На основе развитой в [1, 2] диффузионно-фильтрационной модели массопереноса метана в угольном веществе в работе [3] были установлены закономерности влияния на концентрацию метана в очистном забое параметров, определяющих взаимодействие системы уголь–метан (открытая и закрытая пористость угля, растворимость метана и коэффициент фильтрации метана в угле), а также технологических параметров выемки угля (скорость движения очистного забоя и забойного конвейера, геометрия лавы, гранулометрический состав разрушенного угля).

Чтобы рассчитать количество метана, поступающего в очистной забой, и спрогнозировать изменение концентрации метана в призабойной зоне, нужно знать скорость его выделения с боковой поверхности выработки и отбитого угля.

В работе [3] было показано, что изменение средней концентрации  $c(t)$  метана в выработке описывается дифференциальным уравнением

$$\frac{dc}{dt} = m(t) - (m(t) + q)c(t), \quad (1)$$

где  $m(t)$  и  $q(t)$  – соответственно количество метана и воздуха, поступающих в выработку за единицу времени, в расчете на единицу ее объема, 1/мин.

Начальное условие к уравнению (1) определяется отсутствием метана в рудничной атмосфере до начала работы очистного комбайна:

$$c(0) = 0. \quad (2)$$

Если граница раздела пласт–выработанное пространство неподвижна, то метан вытекает со скоростью, зависящей от времени и определяемой следующим соотношением, установленным ранее [2]:

$$j(t) = \rho_0 \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi t}}, \quad (3)$$

где  $j(t)$  – плотность потока метана через единицу обнаженной поверхности угля,  $\rho_0$  – плотность метана в фильтрационном объеме,  $t$  – время, отсчитываемое от момента обнажения поверхности угля,  $D_f$  – коэффициент фильтрации метана в угле,  $\gamma_e = \gamma_0 + v(1 - \gamma_0)(1 - \gamma + \frac{\gamma}{v})$  – обобщенная пористость,  $\gamma_0, \gamma$  – соответственно открытая и закрытая пористость,  $v$  – коэффициент растворимости метана в угле.

Рассмотрим случай, когда граница пласт–выработанное пространство движется. Во время работы добычного оборудования происходит подвигание груди забоя и при этом образуется обедненная метаном зона приповерхностного слоя угля. Фронт  $x$  этой зоны, т.е. условная граница, отделяющая «истощенную» зону от исходного газонасыщенного пласта, движется в глубь по простиранию пласта по закону  $x \sim \sqrt{D_f t}$  (где  $t$  – время, отсчитываемое от момента обнажения пласта,  $x$  – расстояние от обнаженной зоны до фронта). Таким образом, толщина слоя обеднения порядка  $\sqrt{D_f t}$  и граница слоя обеднения перемещается пропорционально  $\sqrt{t}$ . Если обозначить среднюю скорость подвигания через  $V_p$ , то внешняя граница пласта перемещается, как  $V_p t$ . Очевидно, что через определенное время  $t_m$  граница пласта (грудь забоя) «догонит» границу обедненного слоя. С этого момента граница пласта все время будет находиться в необедненной области, где плотность метана в фильтрационном объеме равна  $\rho_0$ . При этом скорость выхода метана наружу будет определяться не фильтрационными процессами, а скоростью продвижения добычного оборудования, т.е. плотность потока по порядку величины будет равняться

$$j_m \sim \rho_0 \gamma_e V_p. \quad (4)$$

Для нахождения  $t_m$  запишем равенство

$$\sqrt{D_f t_m} \approx V_p t_m.$$

Отсюда

$$t_m \approx \frac{D_f}{V_p^2}. \quad (5)$$

Разумеется, формула (5) представляет собой оценочное равенство. Приведенные оценки позволяют записать простую интерполяционную формулу

$$j(t) = \rho_0 \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi}} \left( \frac{1}{\sqrt{t}} + \frac{1}{\sqrt{t_m}} \right), \quad (6)$$

где  $t_m$  по порядку определяется равенством (5).

Для коэффициента фильтрации  $D_f = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с и скорости подвигания 2 м/сут характеристическое время «обгона»  $t_m \sim 0,5$  ч. Таким образом, на начальном этапе работы добычного оборудования плотность потока метана быстро (по закону  $t^{-1/2}$ ) убывает, и добыча угля практически не влияет на скорость газовыделения из пласта, а затем при  $t > t_m$  выходит на постоянное значение (4).

Иными словами, при  $t > t_m$  добыча угля сильно увеличивает газоотдачу из пласта. В связи с этим время  $t_m$  можно назвать максимальным временем безопасной непрерывной добычи угля.

Из (5) видно, что при большом коэффициенте фильтрации, т.е. для рыхлого угля, время  $t_m$  становится большим, поэтому добыча угля даже с высокой скоростью подвигания забоя (более 10 м/сут) реально не скажется на газоотдаче из пласта.

Для расчета мощности газовыделения  $m_s(t)$  из обнаженной поверхности пласта достаточно плотность потока (4) умножить на площадь этой поверхности и результат разделить на объем прилегающего к лаве выработанного пространства.

В результате при простейших предположениях о геометрии лавы получим

$$m_s(t) = \frac{\rho_0}{\rho_a H} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi}} \left( \frac{1}{\sqrt{t}} + \frac{1}{\sqrt{t_m}} \right) \approx \frac{\rho_0}{\rho_a H} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi t}} + \frac{\rho_0 \gamma_e}{\rho_a H} V_p. \quad (5)$$

Здесь  $\rho_a$  – плотность метана при атмосферном давлении,  $H$  – ширина рабочего пространства очистного забоя.

В [3] было показано, что мощность потока метана из отбитого угля  $m_c$  определяется физическими свойствами угля и технологическими параметрами его выемки:

$$m_c = \frac{12\rho_0}{\rho_a} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f l}{\pi V_k}} \frac{V_p}{l_c H}, \quad (6)$$

где  $l_c$  – размер фракции отбитого угля,  $V_k$  – скорость движения конвейера,  $l$  – длина лавы.

Таким образом, суммарная мощность источников метана в очистном забое

$$m(t) = \frac{\rho_0}{\rho_a H} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi t}} + \frac{\rho_0 \gamma}{\rho_a H} V_p + \frac{12 \rho_0}{\rho_a} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f l}{\pi V_k}} \frac{V_p}{l_c H}. \quad (7)$$

Учитывая, что через небольшое время после начала работы эта мощность не зависит от первого слагаемого, т.е.  $m(t)$  становится величиной постоянной (обозначим ее  $m_0$ ), можем найти решение уравнения (1) при постоянных значениях количества метана  $m_0$  и воздуха  $q$ , поступающих в выработку за единицу времени в расчете на единицу ее объема.

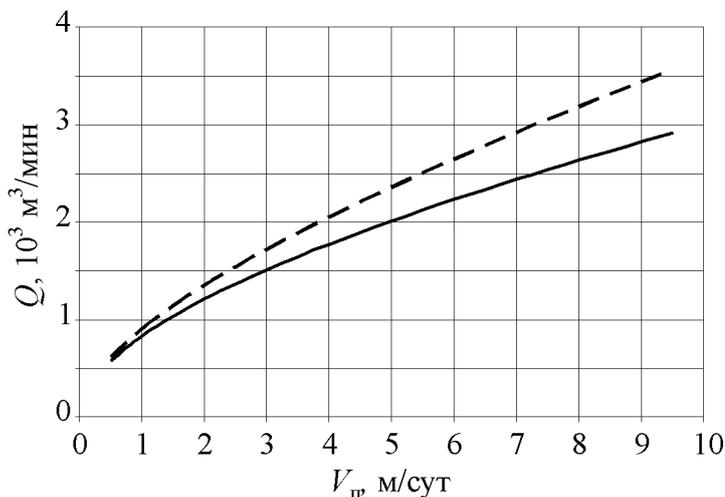
Анализ решения этого уравнения показывает, что через несколько минут после начала работы комбайна, минуя практически мгновенно достигнутое максимальное значение, устанавливается стационарная концентрация метана в призабойном пространстве:

$$c_s = \frac{m_0}{m_0 + q}. \quad (8)$$

Это соотношение позволяет определить мощность вентиляции, которая необходима для безопасного ведения работ в очистной выработке:

$$q_{cr} = \frac{m_0(1 - c_s)}{c_s} \approx \frac{m_0}{c_s}. \quad (9)$$

На рис. 1 представлен расчет по расходу воздуха, необходимого для безопасной работы в лаве в зависимости от скорости продвижения забоя, для условий 9-й южной лавы пласта  $k_5$  шахты «Краснолиманская» ( $D_f = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $l = 0,027$  м,  $V_k = 0,25$  м/мин,  $\gamma = 0,3$ , площадь сечения очистного забоя 4,47 м<sup>2</sup>, длина очистного забоя 330 м, мощность пласта 2,03 м) и 9-й западной лавы пласта  $l_1$  шахты им. А.Ф. Засядько ( $D_f = 1,8 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с,  $l = 0,02$  м,  $V_k = 0,25$  м/мин,  $\gamma = 0,3$ , площадь сечения очистного забоя 5,74 м<sup>2</sup>, длина очистного забоя 300 м, мощность пласта 2,05 м).



**Рис. 1.** Зависимость мощности вентиляции, необходимой для безопасной работы в зависимости от скорости продвижения забоя для условий шахты им. А.Ф. Засядько (---) и шахты «Краснолиманская» (—)

Пусть в некоторый момент времени  $t_0$  произошло отключение вентиляции. В случае такой аварийной ситуации прекращается работа комбайна и останавливается конвейер. Тогда в уравнении (1)  $q = 0$ , а в качестве  $m(t)$  следует взять

$$m(t) = \frac{\rho_0}{\rho_a H} \sqrt{\frac{\gamma_e D_f}{\pi(t+t_0)}} + \frac{12\rho_0 V_p}{\rho_a H l_c} \sqrt{\frac{\gamma_e l D_f}{\pi V_k}} \cdot \left( \sqrt{1 + \frac{t V_k}{l}} - \sqrt{\frac{t V_k}{l}} \right), \quad (10)$$

где  $t$  отсчитывается от момента отключения вентиляции, т.е.  $t = 0$  соответствует моменту остановки работы.

Начальное условие к уравнению (10) в этом случае выглядит следующим образом:  $c(0) = c(t_0)$ .

На рис. 2 показано изменение концентрации метана в выработке в случае прекращения проветривания при  $t_0 = 10$  мин после начала работы (для следующих представительных значений параметров  $\rho_0/\rho_a = 30$ ;  $D_f = 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с;  $\gamma_e \approx \gamma = 0,3$ ;  $H = 5$  м;  $V_p = 1$  м/сут;  $l = 200$  м;  $V_k = 1$  м/с;  $l_c = 0,01$  м).

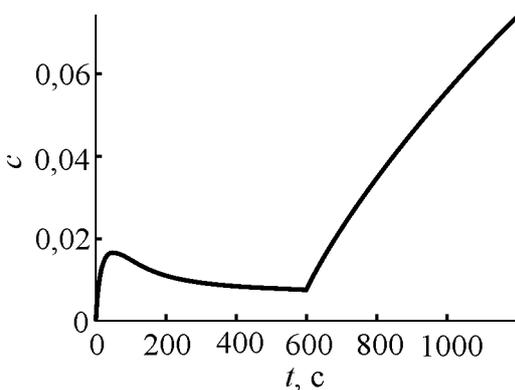


Рис. 2. Изменение концентрации метана в выработке в случае прекращения проветривания

Как мы видим, такое быстрое нарастание концентрации газа в выработке требует немедленных мероприятий по ликвидации аварийной ситуации.

Следовательно, разработанная модель позволяет не только спрогнозировать ожидаемую концентрацию метана в очистном забое при конкретных физических свойствах угольного пласта и технологических параметрах выемки, но и рассчитать такие значения этих параметров, при которых работа будет вестись в безопасном режиме.

Автор выражает благодарность доктору физико-математических наук, профессору Э.П. Фельдману за ценные замечания и помощь в работе.

1. *Алексеев А.Д.* Диффузионно-фильтрационная модель выхода метана из угольного пласта / А.Д. Алексеев, Э.П. Фельдман, Т.А. Василенко, К.В. Гуменник, Н.А. Калугина // Журнал технической физики. – 2007. – 77. – Вып.4. – С. 65–74.
2. *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. – 2006. – 16, №2. – С. 99–114.
3. *Алексеев А.Д.* Прогноз времени образования опасных концентраций метана в очистных забоях / А.Д. Алексеев, Э.П. Фельдман, Г.П. Стариков, Н.А. Калугина, И.Е. Кольчик // Уголь Украины. – 2010. – №7. – С. 29–32.

Калугіна Н.О.

ВПЛИВ ТЕМПУ РОБОТИ ВИДОБУВНОГО УСТАТКУВАННЯ  
НА ШВИДКІСТЬ ГАЗОВИДІЛЕННЯ З ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА

*Встановлено закономірності газовиділення з поверхні очисного вибою залежно від фізичних властивостей вугілля і швидкості посування лави, у тому числі у випадку аварійної ситуації під час припинення провітрювання.*

**Ключові слова:** вугілля, метан, очисний забій, безпечна робота, потужність вентиляції, аварійна ситуація

N.A. Kalugina

INFLUENCE OF RATE OF WORK OF BOOTY EQUIPMENT ON SPEED  
OF GAS EVOLUTION FROM A COAL LAYER

*Parameters of gas evolution from a coal working face are determined depending on physical properties of the coal and longwall face speed including the case of emergency ventilation shutdown.*

**Keywords:** coal, methane, working face, safe mining, ventilation rate, mine accidents

*Статья поступила в редакцию 14 мая 2010 года*