

Г.Г. Каркашадзе, Е.В. Мазаник, Ю.А. Семькин

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРИТОКОВ МЕТАНА ИЗ ОТБИТОГО УГЛЯ В ЛАВЕ В ПРОЦЕССЕ ОЧИСТНЫХ РАБОТ

Описана методика расчета притоков метана из отбитого комбайном угля в течение времени транспортирования на лавном конвейере. В методике использовано дифференциальное уравнение массопереноса метана с учетом изотермы сорбции в центрально-симметричной постановке задачи. Рассчитаны притоки метана в исходящую из лавы струю зависимости от гранулометрического состава угля и технологических параметров работы очистного забоя.

Ключевые слова: уголь, метан, гранулометрический состав, очистной забой, притоки метана в исходящую струю.

В разработанной за последние 5 лет «Методике расчета допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору» [1, 2, 3, 4, 5], основанной на фундаментальных уравнениях массопереноса метана в угольном пласте, вместо эмпирических коэффициентов используют исключительно базовые физические свойства углепородного массива и технологические параметры системы разработки. Такой подход к решению задачи повышает достоверность прогнозов, что позволяет руководителям угольных шахт более обоснованно планировать добычные работы.

В известной «Методике расчета...» требует уточнения фактор учета притоков метана из отбиваемого комбайном угля в лаве. Очевидно, притоки метана из отбиваемого угля в течение времени транспортирования на лавном конвейере влияют на возможность повышения нагрузок на очистной забой и поэтому управление этим процессом представляет важную практическую задачу.

В расчетной модели примем, что все частицы отбитого угля имеет сферическую форму. Распределение давления метана в сферической частице при выполнении закона Дарси и с учетом изотермы сорбции Лэнгмюра в центрально-симметричной постановке задачи имеет вид:

$$p \frac{\partial^2 p}{\partial r^2} + \left(\frac{\partial p}{\partial r} \right)^2 + \frac{2}{r} p \frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\mu \cdot \Pi}{k} \left[1 + A \frac{ab}{(1+ap)^2} \right] \cdot \frac{\partial p}{\partial t} \quad (1)$$

где $p = p(r, t)$ – давление метана в поровом пространстве, Па; r – радиус, м; t – время, с; μ – динамическая вязкость метана, Па·с; Π – пористость угля; k – проницаемость угольной частицы, м²; A – размерный параметр, $A = \frac{RT}{\mu_{CH_4}} \cdot \frac{1}{\Pi}$;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T – абсолютная температура газа, К; μ_{CH_4} – молярная масса метана, кг/моль; a, b – параметры сорбции в изотерме Лэнгмюра.

По условию задачи сферическая частица угля в начальный момент отбойки комбайном насыщена свободным метаном под давлением p_0 . Это давление по своей величине меньше максимального пластового давления метана, по-

сколько имеет место поток газа с поверхности очистного забоя за время между циклами отбойки угля комбайном. Среднее давление метана в отбиваемом угле определяется усреднением давления в слое по ширине захвата комбайна. После отбойки частицы угля на ее свободной поверхности устанавливается шахтное атмосферное давление газа p_{at} , что приводит к массопереносу метана под действием градиента давлений в соответствии с дифференциальным уравнением (1).

Начальное условие задачи: давление метана в поровом пространстве отбитой частицы угля не зависит от радиуса – величина постоянная

$$p(r, 0) = p_0 . \quad (2)$$

Граничные условия: давление на свободной поверхности сферы радиусом R_0 равно атмосферному давлению

$$p(R_0, t) = p_{at} \quad (3)$$

В центре сферы выполняется условие симметричности

$$\frac{\partial p(0, t)}{\partial r} \quad (4)$$

В качестве примера рассмотрим вариант дегазации частиц угля, отбиваемого с производительностью G (кг/с) и находящегося в лаве в процессе транспортирования на конвейерной ленте в течение времени t . Сначала рассмотрим дегазацию одной частицы отбитого угля радиусом R_0 , в поровом пространстве которой сформировано начальное давление метана $p_0 = 1,27$ МПа. По промежуточным расчетам эта величина соответствует пластовому давлению метана величиной $p_0 = 1,65$ МПа (газоносность угля 12 м³/т). При этом выполнено условие дегазации угольного забоя перед очередной отбойкой комбайном в течение 68,5 мин.

Время нахождения угля на конвейерной ленте зависит от места положения y_1 комбайна в процессе отбойки, длины лавы и скорости движения конвейера

$$t = \frac{L - y_1}{v_k} \quad (5)$$

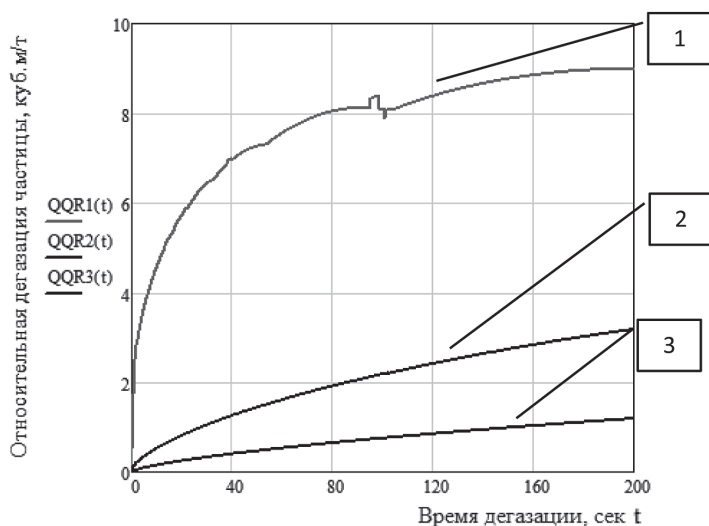
При скорости движения конвейера $v_k = 2,4$ м/с, при длине лавы $L = 240$ м, длительность дегазации отбитого угля изменяется от нуля – при расположении комбайна на границе с конвейерным штреком ($y_1 = L$), до 100 сек – при расположении комбайна на границе с вентиляционным штреком ($y_1 = 0$).

В расчете методом конечных элементов использованы следующие формулы. Удельный поток метана в сферической частице составляет

$$q(r, t) = \frac{k}{\mu} \frac{\partial p(r, t)}{\partial r} , \text{ м/с} \quad (6)$$

Интегральный приток метана с поверхности сферической частицы за время t

$$V_{ch4}(t) = 4\pi R_0^2 \int_0^t q(R_0, t) dt \quad (7)$$



$q_r = 12 \text{ м}^3/\text{т};$
 $C_c = 0,5 \cdot 10^{-21} \text{ м}^2;$
 $p_0 = 1,65 \text{ МПа};$
 $p_{ат} = 0,1 \text{ МПа};$
 $\Pi = 0,02;$
 $a = 0,207 \cdot 10^{-6} \text{ Па}^{-1};$
 $b = 49,3 \text{ м}^3/\text{т};$
 $T = 300 \text{ }^\circ\text{К};$
 $\rho_y = 1,28 \text{ т}/\text{м}^3$

1 – $R_0 = 0,25 \text{ мм};$
 2 – $R_0 = 1 \text{ мм};$
 3 – $R_0 = 2,25 \text{ мм}$

Рис. 1. Относительная дегазация сферической частицы угля при различных размерах в течение времени

Относительная дегазация частицы

$$\Delta q_r(t) = \frac{V_{ch4}(t)}{\rho_y \frac{4\pi R_0^3}{3}}, \text{ м}^3/\text{кг} \quad (8)$$

где ρ_y – объемная масса угля, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Приток метана в лаву при заданных параметрах работы комбайна

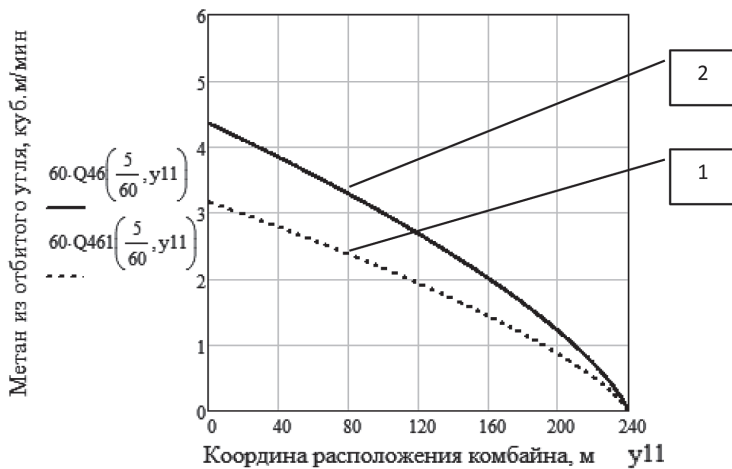
$$Q_{ch4} = (1 - n_3)v \cdot m \cdot \Delta h \cdot \frac{3}{R_0} \Delta q(t), \text{ м}^3/\text{с} \quad (9)$$

где n_3 – зольность угля, $\text{м}^3/\text{м}^3$; v – скорость движения комбайна при отбойке угля, $\text{м}/\text{с}$; m – мощность пласта, м ; Δh – ширина заходки комбайна, м .

Поставленная задача с дифференциальным уравнением (1) решена методом конечных элементов средствами Mathcad. На рис. 1 представлена зависимость относительной дегазации сферической частицы угля в течение времени. В частности, измельченная частица угля радиусом $R_0 = 0,25 \text{ мм}$ за время 200 с дегазируется на величину $9,0 \text{ м}^3/\text{т}$, а более крупная частица радиусом $R_0 = 4,5 \text{ мм}$ за это же время дегазируется на $1,2 \text{ м}^3/\text{т}$. Таким образом установлено, что дегазация сильно измельченных частиц происходит намного интенсивнее по сравнению с более крупными фракциями. Соответственно, притоки метана в лаву также возрастают при увеличении степени измельчения отбитого комбайном угля.

На рис. 2 представлена зависимость притока метана в лаву из отбитого комбайном угля при среднем радиусе частиц $R_0 = 25 \text{ мм}$ в зависимости от координаты расположения комбайна в лаве.

Скорость движения комбайна при отбойке принята $v = 5 \text{ м}/\text{мин}$. В рассмотренном случае наибольший приток метана из отбитого угля имеет место при расположении комбайна на максимальном удалении от конвейерного штрека,



$$\begin{aligned}
 q_r &= 12 \text{ м}^3/\text{г}; \\
 C_c &= 0,5 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2; \\
 p_{cp} &= 1,27 \text{ МПа}; \\
 p_{ат} &= 0,1 \text{ МПа}; \\
 \Pi &= 0,02; \\
 a &= 0,207 \cdot 10^{-6} \text{ Па}^{-1}; \\
 b &= 49,3 \text{ м}^3/\text{г}; \\
 T &= 300 \text{ °К}; \\
 R_0 &= 25 \text{ мм}; \\
 v &= 5 \text{ м/мин}; \\
 n_3 &= 0,27 \\
 1 - v_k &= 2,4 \text{ м/с}; \\
 2 - v_k &= 4,8 \text{ м/с}
 \end{aligned}$$

Рис. 2. Абсолютный приток метана в лаву в зависимости от расположения комбайна в лаве

в направлении которого перемещается вентиляционный поток. Из анализа зависимости можно сформулировать практическую рекомендацию о целесообразности повышения скорости движения конвейера, что будет способствовать снижению концентрации метана в исходящей струе. Целесообразно также так организовать отбойку угля, чтобы исключить чрезмерное измельчение фракций угля. Из расчетов следует, что максимальный приток метана из отбитого угля составляет $Q_{ch4} = 4,4 \text{ м}^3/\text{мин}$ при скорости лавного конвейера $v_k = 2,4 \text{ м/с}$. Если скорость повысить до $3,8 \text{ м/с}$, то приток метана уменьшится до величины $3,2 \text{ м}^3/\text{мин}$.

На рис. 2 показана также ситуация, когда при прочих равных условиях скорость лавного конвейера увеличили в два раза до величины $4,8 \text{ м/с}$. Получилось, что при скорости ленты $2,4 \text{ м/с}$ максимальный приток метана из отбитого угля составлял $5,4 \text{ м}^3/\text{мин}$, а при увеличении скорости в два раза максимальный приток метана уменьшился и составляет $4,3 \text{ м}^3/\text{мин}$ (уменьшился на $20,3\%$).

Представленный метод расчета позволяет более уточнить и достоверно прогнозировать допустимую нагрузку на очистной забой по газовому фактору, описанную в последней работе [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С. Обоснование допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору / Труды научного симпозиума «Неделя горняка-2009». – М.: ИД ООО «Роликс», 2009. – С. 151–159.

2. Волков М.А. Обоснование допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору в условиях шахты «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» / Сборник трудов III Международной научно-практической конференции «Перспектива развития Прокопьевско-

Киселевского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов». – Прокопьевск: Изд-во филиала ГУ КузГТУ, 2011. – С. 32–35.

3. Каркашадзе Г.Г., Волков М.А., Ермак Г.П. Совершенствование методики расчета нагрузки на очистной забой на основе шахтных измерений пластового давления и параметров массопереноса метана в угольных пластах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – Об N° 8 «Экология и метанобезопасность». – С. 169–175.

3. Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Ермак Г.П., Никитин С.Г. Прогноз допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору. 2012г. http://www.rusnauka.com/28_NII_2012/Tecnic/13_117650.doc.htm

4. Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С., Ермак Г.П. Аналитическая методика расчета допустимой нагрузки на очистной угольный забой по газовому фактору // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 6. – С. 53–59. **ТИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каркашадзе Георгий Григорович – доктор технических наук, профессор, e-mail: g-karkashadze@mail.ru, Московский государственный горный университет, Мазаник Евгений Васильевич – кандидат технических наук, горный инженер ОАО «СУЭК-Кузбасс», e-mail: mazanikev@suek.ru, Семькин Юрий Анатольевич – горный инженер ОАО «СУЭК-Кузбасс», e-mail: SemykinUA@suek.ru.

UDC 622.411.33

CALCULATION PROCEDURE FOR METHANE INFLOW FROM LOOSE COAL IN LONGWALL MINING

Karkashadze G.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: g-karkashadze@mail.ru, Moscow State Mining University, Mazanik E.V., Candidate of Engineering Sciences, Mining Engineer of OJSC «SUEK-Kuzbass», e-mail: mazanikev@suek.ru, Semykin Ju.A., Mining Engineer of OJSC «SUEK-Kuzbass», e-mail: SemykinUA@suek.ru.

The author presents the calculation procedure for methane inflow from shearer-cut loose coal during longwall belt transport. The procedure uses centrally symmetric problem and differential equation of methane mass transfer taking into account sorption isotherm. Methane inflow in the longwall return ventilation air is calculated depending on grain size composition of loose coal and technological parameters of production heading.

Key words: coal, methane, grain size composition, production heading, methane inflow in return ventilation air.

REFERENCES

1. Slastunov S.V., Karkashadze G.G., Kolikov K.S. *Trudy nauchnogo simpoziuma «Nedelja gornjaka-2009»* (Miner's Week–2009 Symposium Proceedings), Moscow, ID ООО «Roliks», 2009, pp. 151–159.
2. Volkov M.A. *Sbornik trudov III Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Perspektiva razvitiya Prokop'evsko-Kiselevskogo ugol'nogo rajona kak sostavnaja chast' kompleksnogo innovacionnogo plana monogorodov»* (III International Scientific and Practical Conference Proceedings on Outlook for the Prokopyevsk–Kiselevsk Coal Region as a Part of the Integrated Innovation Monocity Plan), Prokopyevsk, Izd-vo filiala GU KuzGTU, 2011, pp. 32–35.
3. Karkashadze G.G., Volkov M.A., Ermak G.P. *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, 2011, Special Issue, no 8 Ecology and methane safety, pp. 169–175.
3. Slastunov S.V., Karkashadze G.G., Ermak G.P., Nikitin S.G. *Prognoz dopustimoj nagruzki na ochistnoj zaboj po gazovomu faktoru 2012* (Prediction of allowable face output by gas factor. 2012), http://www.rusnauka.com/28_NII_2012/Tecnic/13_117650.doc.htm
4. Slastunov S.V., Karkashadze G.G., Kolikov K.S., Ermak G.P. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznyh iskopaemyh*, 2013, no 6, pp. 53–59.