

УДК 622.121.54

Г.Я. Полевщиков, М.В. Шинкевич, М.С. Плаксин

**ГАЗОКИНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РАСПАДА
УГЛЕМЕТАНА НА КОНВЕЙЕРНОМ ШТРЕКЕ
ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА**

Изложены основы расчета кинетики метановыделения из отбитого угля, учитывающие современные представления о свойствах и состояниях углеметановых геоматериалов.

Ключевые слова: метан, призабойное пространство, отбиваемый уголь, метанобильность, газовыделение, газоистощение.

Известно, что наибольшая скорость выделения газа из единицы массы угля соответствует моменту его разрушения. Затем она снижается в течение многих часов и даже суток. Только в результате последующего термовакуумирования мы получаем тот объем газа, который принято называть природной газоносностью угольного пласта.

Период снятия стружки очистным комбайном характеризуется наиболее высоким притоком метана в призабойное пространство. Источником газа является не только отбиваемый уголь, но и та его масса, которая отбита ранее и транспортируется по оmyающей комбайн вентиляционной струе. При этом направление движения струи не влияет на общее содержание метана, но определяет распределение его концентраций в системе горных выработок. Решению этой задачи посвящено значительной количество исследований с достаточно значимыми результатами. Наиболее представительные из них вошли в соответствующие нормативные документы различного уровня. Но происшедшее в последние годы резкое увеличение производительности очистных забоев и их протяженности

проявило те неточности в расчетах, которые ранее были достаточно приемлемыми.

Газокинетические характеристики отбиваемого угля, определяющие скорость выделения из него метана в различные моменты времени после разрушения зависят не только от природных свойств, но и от технологии горных работ, способов и технических средств отбойки. При решении этой задачи, даже в части технических характеристик комбайна, возникает ряд принципиальных затруднений. Например, известны попытки расчета кинетики газовыделения путем оценки энергоемкости разрушения угля, через скорость подвигания комбайна и число оборотов шнека, с выходом на фракционный состав отбитого угля при соответствующей точности информации об его прочности на глубине резания, полноты и своевременной замены зубков на шнеке. Однако изменчивость природной прочности угля по площади пласта общеизвестна, также как и дезинтеграция его призабойной зоны под действием горного давления. В результате полученные данные о фракционном составе отбитого угля, сводятся к некоторому показателю его

дробления, характеризующему нечто среднее. По этим причинам выполненные МакНИИ в середине 80-х годов исследования энергоемкости разрушения угля очистными комбайнами с применением киловатт-метров не привели к каким-либо интересным для практики выводам. Более того, в рамках рассматриваемой задачи степень дробления представляет интерес только в том случае, если известно ее количественное влияние на скорость газовыделения. В этой части, исследователи, как правило, используют соответствующие зависимости из области десорбции метана из угля, насыщенного газом в лабораторных условиях. Но исследованиями ВостНИИ в тех же 80-х годах показано, что начальная скорость десорбции в десятки раз выше скорости газоистощения природного углеметанового вещества в процессе его разрушения.

В настоящее время, по сравнению с 80-ми годами, трудоемкость и продолжительность адаптации методов к конкретным условиям можно резко сократить путем использования накапливаемых электронными системами мониторинга рудничной атмосферы данных о концентрации метана и расходе воздуха в выработках, по которым транспортируется уголь. Если полученные зависимости увязываются с природными свойствами угля и соответствующими следствиями реализации горного давления, то остается только технический фактор — характеристики комбайна. Это влияние, на наш взгляд, целесообразно увязать с типом машины, т.к. их типовой ряд весьма ограничен, а влиянием ее технического состояния в тот или иной период можно пренебречь, учитывая погрешности исходных данных о механических характеристиках угля и метанообильности горных выработок. В результате, при наличии соответст-

вующего научного задела, решение задачи о метанообильности обрабатываемых пластов сведется к обработке по соответствующему алгоритму оперативных горнотехнологических данных, полученных в достаточно широком диапазоне условий.

Анализ данных электронных систем контроля газовой обстановки в горных выработках более 20 выемочных участков шахт на 5 месторождениях Кузбасса показал, что, например, значения концентрации метана, фиксируемые с квантованием 1—2 мин в течение многих месяцев работы лавы, характеризуются значительными колебаниями. Их непосредственная обработка методами математической статистики с целью установления обобщающих эмпирических зависимостей, как показал мировой горный опыт, мало продуктивна. Основой решения должны быть соответствующие физическому процессу полуэмпирические зависимости, обеспечивающие достаточно надежную идентификацию моделей.

Возможности оценки газокинетических характеристик углеметановых геоматериалов существенно возрастают при использовании положений гипотезы твердых углеметановых растворов [1]. Авторами гипотезы предложена эмпирическая зависимость термодинамических условий существования гетерогенной системы «уголь — газ — вода — минеральные примеси», характеризующая распад ТУГР [1,2]

$$G(t) = 0,71 \cdot \exp(4,9 - 0,29 \times \ln(1 + t)) / 100, \text{ д. ед.}, \quad (1)$$

где $G(t)$ — метаносодержание твердого углегазового раствора, доли единицы; t — время, мин.

Уже через 3 часа происходит практически полный распад раствора.

Преобразуя эту зависимость к более удобному виду, получаем кинети-

ку выделения газа из мгновенно отбитой массы угля

$$q = \Gamma_{o.y.} \cdot \left(1 - \frac{1,343 \cdot C_3}{(1+t)^{1-C_3}} \right), \text{ м}^3/\text{т}, \quad (2)$$

где $\Gamma_{o.y.}$ — газоносность отбиваемого угля, $\text{м}^3/\text{т}$; C_3 — коэффициент функции распада ТУГР, д.ед.

Но, поскольку отбойка угля комбайном продолжается достаточно длительное время, то начало газовыделения из каждой тонны угля связано с ее положением по длине очистного забоя и скоростью движения комбайна, т.е.

$$t_x = T - \frac{l}{v_k}, \text{ мин}, \quad (3)$$

где T — общее время от начала выемки угля, мин; l — расстояние от начала движения комбайна, м; $v_k = \text{const}$ — рабочая скорость комбайна, м/мин.

Тогда, суммарное количество газа, выделившегося в горные выработки за время с начала отбойки угля, определяется зависимостью

$$Q_v = m_B l_3 \rho \Gamma_{o.y.} \int_0^{l_n} \frac{dq}{dl} = m_B l_3 \rho \Gamma_{o.y.} \times \\ \times \left(l_n + 1,34 v_k \left[(1 + T - \frac{l_n}{v_k})^{C_3} - (1 + T)^{C_3} \right] \right), \text{ м}^3, \quad (4)$$

где m_B — вынимаемая мощность пласта, м; l_3 — глубина стружки, м; ρ — плотность угля, $\text{т}/\text{м}^3$; $l_n \leq l_{oc}$ — расстояние, пройденное комбайном за время $T \geq 0$, м; l_{oc} — длина очистного забоя, м.

Отсюда можем получить скорость выделения метана из отбитого угля, как относительно производительности отбойки, так и во времени.

Для апробации алгоритма по фактическим данным метанообильности высокопроизводительного очистного

забоя был выбран выемочный участок шахты им. С.М. Кирова № 25—87, Ленинского месторождения, пласта Поленовского. Длина лавы 240 м, скорость транспортирования по лавному конвейеру 1,1 м/с. Перегружатель длиной 50 м имеет скорость транспортирования 1,37 м/с. Скорость транспортирования по конвейерному штреку 2,5 м/с. Время транспортирования отбитого угля изменяется в зависимости от расстояния между датчиком контроля метана и воздухоподающей сбойкой (см. рис. 1).

Контроль фактической метанообильности выполнялся по декадным замерам расхода воздуха и минутным показаниям датчика концентрации метана системы "Трансмиттон", находящегося на конвейерном штреке в 15 м от лавы.

При анализе кинетики газовыделения из транспортируемого угля по зависимости (4) учтены следующие горнотехнологические параметры: производительность очистного забоя, скорость транспортирования угля по лаве и конвейерному штреку, длина лавы, протяженность транспортных выработок, скорость транспортирования.

Представленные на рис. 2 значения абсолютного метановыделения из транспортируемого угля, отражают вышеприведенные горнотехнологические условия.

Анализируя полученные результаты, можем отметить, что применение зависимости (4) для определения абсолютной метанообильности при транспортировании газоносного угля обеспечивает удовлетворительную сходимость расчетных и фактических значений газокинетических характеристик в достаточно широком диапазоне производительности современных комплексно-механизированных участков.

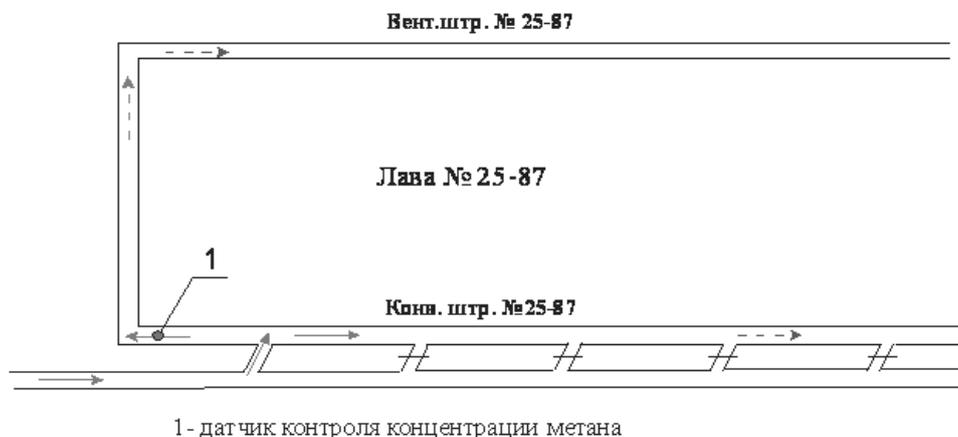


Рис. 1. Схема экспериментального участка

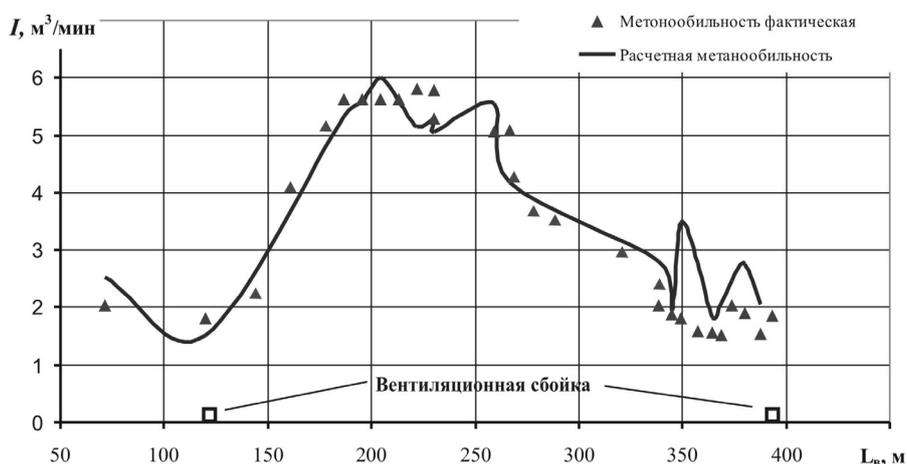


Рис. 2. Метановыделение из угля за время его транспортирования по конвейерному штреху, между сопряжением штрехка с лавой и вентиляционными сбойками

Разработанная методика прогноза метанообильности очистного забоя по газовыделению из отбитого угля позволяет определить и оптимальную по газовому фактору производительность добычного комбайна.

Однако предложенная авторами гипотезы ТУГР формула неудобна с позиций определения эмпирических коэффициентов по данным натуральных измерений, т.к. их зависимость для всего ряда каменных углей не уста-

новлена. Традиционно принято использовать в этих целях более простые экспоненциальные функции, которые значительно ближе к рассматриваемому физическому процессу и, тем самым, позволяют выявить количественные связи с привлечением дополнительных взаимоотношений при идентификации модели.

Для повышения адаптивности полуэмпирических зависимостей при оценке кинетики выделения метана из обрабатываемого пласта используем

более распространенный прием на основе экспоненциальных функций.

Остановимся на более простом случае, когда в зоне работы комбайна установлен датчик концентрации метана ($t_1=0$), уголь транспортируется навстречу вентиляционной струе, а время выемки меньше продолжительности транспортирования ($t_B \leq t_{TP}$).

При описании удельной скорости газовыделения из некоторой массы угля в случае ее мгновенного отторжения принято использовать, как правило, экспоненциальные зависимости различного вида. В наиболее общем случае это

$$i = \sum_{k=1}^n i_{0,k} \exp(-\beta_k t), \text{ м}^3/\text{т} \cdot \text{мин}, \quad (5)$$

где i — удельная скорость газовыделения из угля, $\text{м}^3/\text{т} \cdot \text{мин}$; n — количество членов ряда, удовлетворительно описывающего экспериментальные значения кинетики газовыделения; $1 \leq k \leq n$ — порядковый номер члена ряда; $i_{0,k}$ — удельная начальная скорость газовыделения, $\text{м}^3/\text{т} \cdot \text{мин}$; β_k — коэффициент затухания, $1/\text{мин}$; t — время с момента отбойки рассматриваемой массы угля, мин .

Общее количество газа, выделившееся из всего объема отбитого угля при перемещении комбайна на расстояние l , выразится как

$$Q = m_B l_p \cdot \sum_{k=1}^n \int_0^{t_x} dx \int_0^x i_{0,k} \cdot \exp(-\beta_k \cdot \tau) d\tau, \quad (6)$$

где $l \leq l_p$ — расстояние, пройденное комбайном, м ; l_p — длина очистного забоя, м ; τ — переменная интегрирования.

Чем продолжительнее рассмотрение процесса, тем большее количество членов ряда приходится удерживать для достаточно надежной аппроксимации. Но тем больше пар ко-

эффициентов $i_{0,k}$ и β_k необходимо устанавливать по экспериментальным данным, что выполняется только в некоторых исследовательских задачах. Для инженерных приложений ограничиваются либо одним членом ряда, что весьма приближенно, либо используют не имеющие в данном случае физического смысла степенные зависимости. Используя гипотезу ТУГР можно принять, что отбитый уголь имеет конечные напряжения, равные атмосферному давлению. Следовательно, скорость газовыделения из него определяется максимально возможной скоростью распада того количества углекислого газа, которое он имел на момент отбойки за вычетом остаточной газоносности. Величина последней складывается из газосодержания ТУГР при давлении примерно 0,1 МПа и сорбционной емкости при этом же давлении. Причем, в расчете сорбционного потенциала угля должна присутствовать поправка на его не полную, обусловленную остатком ТУГР. На этой основе задача приобретает более продуктивный физический смысл и оптимальное решение.

Скорость газовыделения из отбитого угля должна быть равна скорости распада ТУГР на уголь и метан. Выделяться больше, чем в результате распада образуется свободного метана, не может. Если же формируется больше, чем может профильтровать через себя соответствующий слой угля, то в нем повышается давление газа. При его значительной, относительно прочности скелета угля, величине развиваются микротрещины и скорость фильтрации приводится в соответствие со скоростью распада. Следуя этому, можно считать, что совокупность коэффициентов β_k характеризуется характеристиками скорости распада.

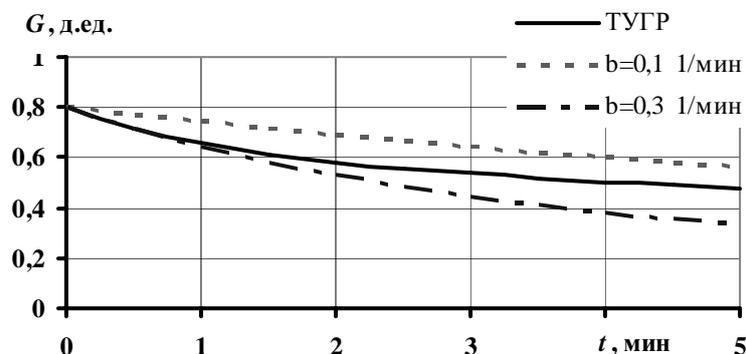


Рис. 3. Интенсивность распада ТУГР

Тогда сумма отношений $\frac{i_{o,k}}{\beta_k}$ характеризуют способный, как отмечено выше, к выделению в период от нескольких минут до десятков минут газовый потенциал отбиваемого угля, равный его газоносности на рассматриваемый момент времени за вычетом ее остаточной величины.

Из представленных на рис. 3 графиков функций и, при равных граничных условиях, видно, что скорость распада раствора может быть отобразена обобщающим показателем β .

Рассмотренные зависимости отражают кинетику распада раствора, как некоторого вещества. Но распад происходит в стесненных условиях пористой среды. Следовательно, выделение даже небольшого количества метана сопровождается формированием соответствующего давления. Поскольку условием распада является снижение напряжений в скелете угля, то его разгрузка от горного давления немедленно компенсируется давлением газа в порах и процесс распада может развиваться только по мере выделения газа из них в атмосферу через микротрещины, связанные с контуром куска отбитого угля. Как отмечено выше, чем большее количе-

ство метана выделилось в окружающую атмосферу, тем более благоприятные условия для распада. Эта особенность и учитывается принятой нами связью кинетики газовыделения с остаточным газосодержанием на рассматриваемый момент времени, а не начальной газоносностью, как это традиционно принимается. При определении величины газового потенциала отбиваемой комбайном горной массы следует учесть результаты [3], показывающие, что подвигании забоя более 3—4 м/сут зона существенного распада ТУГР в пласте меньше глубины стружки. В условиях высокопроизводительных забоев на контрольном интервале конвейерного штрека имеем кинетику процесса распада, с начальным участком, близким природной газоносности.

Соответственно, имеем

$$\sum_{k=1}^n \frac{i_{o,k}}{\beta_k} = \Gamma_{o.y.} - \Gamma_{ост.}, \text{ м}^3/\text{Т}_{горн.м}, \quad (7)$$

где $\Gamma_{o.y.}$ — газоносность отбиваемой массы угля $\Gamma_{ост.}$ — остаточная газоносность отбиваемой горной массы, $\text{м}^3/\text{т}$.

Для определения количества выделившегося метана за время его отбойки определим количество циклов выемки, соответствующих $t_{об}$,

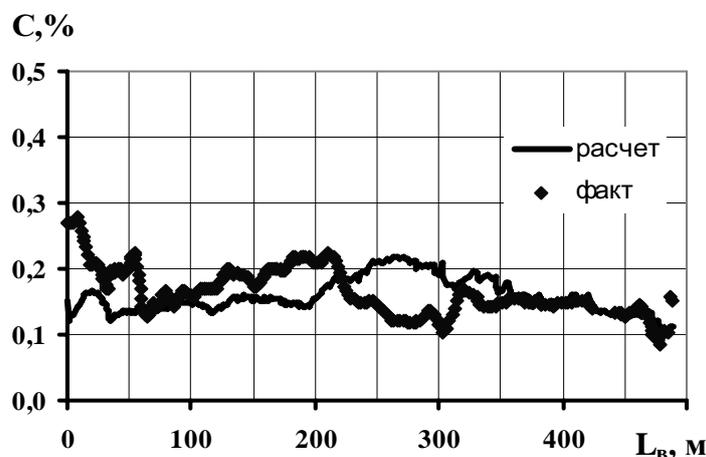


Рис. 4. Сравнительный график фактической и расчетной концентрации метана во входящей в лаву струе воздуха

$$N_{и} = \frac{A}{V_m m_B l_3 \rho (t_{об} - t_{50})}, 1/\text{сут}, \quad (8)$$

где A — суточная добыча, т/сут; V_m — рабочая скорость комбайна, м/мин; m_B — вынимаемая мощность угольного пласта, м; l_3 — глубина заходки, м; ρ — плотность угля, м³/т; $t_{об}$ — время транспортирования угля по всей цепочке транспортирования в пределах выемочного участка, мин; t_{50} — время транспортирования до конца перегружателя, мин.

Интегрируя зависимость (6) и дополняя её необходимыми переменными, определим количество выделяющегося метана из отбитого угля за время его транспортирования t_i из суммы экспоненциальных зависимостей кинетики метановыделения

$$Q_{i.o.y.} = N \cdot A_m \cdot (\Gamma_{o.y.} - \Gamma_{ост}) \cdot (t_l / t_i) \times \\ \times \left(t_i - \left(\frac{1}{\beta_T} \cdot (1 - e^{-\beta_T t_i}) \right) \right) + \\ + \left(t_i - \left(\frac{1}{\beta_c} \cdot (1 - e^{-\beta_c t_i}) \right) \right), \text{ м}^3, \quad (9)$$

где A_m — количество отбитого угля при продвижении комбайна в течение 1

мин., т/мин; β_T, β_c — коэффициенты затухания, определяемые для газоносности пласта представленной в составе ТУГРа и сорбции соответственно; t_i — время транспортирования, мин; t_l — время транспортирования по лаве, мин.

Абсолютное метановыделение из отбитого угля

$$I_{i.o.y.} = \frac{Q_{i.o.y.}}{1440}, \text{ м}^3/\text{мин}, \quad (10)$$

По фактическим данным проводилась горно-экспериментальная проверка (на примере отработки столба №351 ш. «Чертинская-Коксовая») адаптивности зависимостей для расчета кинетики метановыделения на основе экспоненциальных функций.

Сравнение расчетных значений концентрации метана на датчике на конвейерном штреке в 50 м от сопряжения с лавой представлены на рис. 4.

Разработанный алгоритм расчета кинетики метановыделения из отбитого угля, основанные на современных представлениях о свойствах и состояниях углеметанового вещества, обеспечивает определение основных характеристик процесса с учетом технологического режима работы забоя,

газоносности пласта и его вынимаемой мощности, глубины стружки, рабочей скорости комбайна и времени транспортирования угля, включая зону работы комбайна.

Средние отклонения расчетных значений абсолютной метано-

обильности конвейерных штреков от фактических данных рассматриваемых выемочных участков составляют не более 20 %, период наблюдений 6-8 месяцев, производительность забоев 1000—10000 т/сут.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Малышев Ю.Н.* Научные основы методов прогноза и предотвращения опасных газопроявлений в шахтах [Текст]/ Ю.Н. Малышев, А.Т. Айруни, И.В. Зверев // Препринт метанового центра. — 1997. — № 2. — С. 1—4.

2. *Малышев Ю.Н.* Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов [Текст]/ Ю.Н. Малышев, К.Н.

Трубецкой, А.Т. Айруни. — М.: ИАГН, 2000. — 519 с.

3. *Полевщиков Г.Я.* Влияние процессов разгрузки и сдвижений вмещающих пород на выделение метана из разрабатываемого пласта [Текст] / Г.Я. Полевщиков, М.В. Шинкевич, Е.Н.Козырева, О.В. Брюзгина // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 2. — С.139—143. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Полевщиков Г.Я. — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией газодинамики и геомеханики угольных месторождений Института угля и углехимии СО РАН, e-mail: gas_coal@kemsc.ru;

Шинкевич М.В. — младший научный сотрудник лаборатории газодинамики и геомеханики угольных месторождений Института угля и углехимии СО РАН, e-mail: gas_coal@kemsc.ru;

Плаксин М.С. — инженер-исследователь лаборатории газодинамики и геомеханики угольных месторождений Института угля и углехимии СО РАН, e-mail: gas_coal@kemsc.ru.



ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ			
ЖУРАВЛЁВ Алексей Николаевич	Тектоническое развитие Верхнеселенных – Уяндинского района Колымской петли в мезозое и кайнозое	25.00.01	к.т.н.