

Газовыделение при механодеструкции угля

Дырдин В. В.¹, Ким Т. Л.^{1*}, Фофанов А. А.¹, Плотников Е. А.², Воронкина Н. М.³

¹ Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева,
г. Кемерово, Россия

² Шахта «Распадская», г. Междуреченск, Россия

³ СУЭК-Кузбасс, г. Ленинск-Кузнецкий, Россия

*e-mail: tanyakim@list.ru

Реферат

Введение. Обеспечение безопасности горных работ при подземной разработке месторождений каменного угля неразрывно связано с применением мер, направленных на уменьшение газовыделения из краевых зон угольных пластов. В настоящее время нет точного ответа на вопрос, почему при внезапных выбросах угля и газа удельное газовыделение превышает в несколько раз природную газоносность. В связи с этим научная задача изучения газовыделения при механодеструкции угля является актуальной.

Цель работы. Целью данной статьи является проверка гипотезы наличия в каменном угле метана, находящегося с матрицей в иных, не сорбционных формах связи, но способного переходить в газообразное состояние при механодеструкции, т. е. при разрушении угля.

Методология. Авторами проведен отбор угольных проб из пластов угольных шахт Кузбасса. Установлен характер изменения средневзвешенного размера частиц угля в зависимости от числа циклов разрушения. А также приведены результаты хроматографического анализа газа, выделившегося при разрушении отобранных угольных проб.

Результаты. Установлено, что при разрушении проб угля, отобранных на границе зоны влияния выработки, происходит интенсивное выделение «угольных» газов, при этом наибольшая концентрация наблюдается у метана. Установлено, что при механодеструкции угля происходит разрыв внутримолекулярных связей атомов углерода с «бахромой», а также между графитоподобными слоями углеродной решетки, что приводит к высвобождению значительного количества газа и переходу его в свободное состояние.

Выводы. Разработана методика экспериментального определения удельного газовыделения, позволяющая оценивать склонность участка угольного пласта к внезапным выбросам угля и газа.

Ключевые слова: разрушение угля; газовыделение; механодеструкция; угольный пласт; внезапные выбросы.

Введение. Практика подземной разработки угольных пластов, склонных к внезапным выбросам угля и газа, показала, что при выбросах газовыделение составляет примерно 50–100 м³/т [1, 2], а в Карагандинском бассейне – более 100 м³/т [3], что значительно превышает природную газоносность пластов, на которых произошли выбросы. Меры борьбы с внезапными выбросами угля и газа связаны в основном с предварительной дегазацией опасных по выбросам пластов, но ее эффективность в большинстве случаев не превышает 10–20 % [1]. Противовыбросные мероприятия могут быть более эффективными, если будут установлены источники поступления метана в зоны, где формируется выбросоопасная ситуация. Большинство авторов [1, 4, 5] склонны считать, что образование метана или его освобождение из закрытых пор [6] возможно в процессе разрушения угля, когда нарушаются внутримолекулярные связи «бахромы» с макромолекулой угля, а связи между атомами углерода, образующими правильные шестиугольники, сохраняются. «Бахрома» содержит водород, а также метильные группы. По расчетам, представленным в [1], если только 5 % оторвавшихся метильных групп

участвует в образовании молекул метана, то это эквивалентно выделению до 42 м^3 дополнительного метана, что в какой-то мере может объяснить высокое удельное газовыделение при внезапном выбросе угля и газа.

Действительно, в угле может существовать неорганический синтез насыщенных и ненасыщенных углеводородов алифатического ряда. При этом двухвалентное железо может служить катализатором таких реакций.

Синтез был открыт Фишером и Тропшем [7–9]. Реакции типа $2 \text{CO} + \text{H}_2 = [-\text{CH}_2-] + \text{CO}_2$ ($-204,8 \text{ кДж}$) по их расчетам позволяют получить максимальный выход углеводородов до $208,5 \text{ г}$ на 1 м^3 смеси ($\text{CO} + \text{H}_2$), а образование метана может идти по реакции $\text{CO} + 3\text{H}_2 = \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$ ($-206,4 \text{ кДж}$).

В угольном пласте это возможно только при локальном повышении температуры и наличии катализатора. Действительно, авторами работы [10] методами ионной масс-спектрометрии зафиксировано выделение метана при низкотемпературном нагреве и установлено, что двухвалентное железо является эффективным катализатором этого процесса.

Обязательное наличие катализатора и достаточно высокая температура в угольном пласте, которая при спокойном залегании пласта никогда не наблюдается, являются ограничениями реального осуществления данной гипотезы. Однако, по данным [6], в угольных пластах присутствует двухвалентное железо [11]. А согласно данным, приведенным в [11], температура поверхностного слоя трещин в момент их образования выше, чем в окружающей среде, и для гранитов может составлять 10^3 К , что зафиксировано тепловизором. Трещинообразование при разрушении горной породы связано с разделением зарядов на ее берегах, поэтому при достижении пробойной напряженности электрического поля между берегами трещин происходит разряд, сопровождающийся импульсом электромагнитного излучения. Поэтому высокая температура, обнаруженная на стенках трещин, не является чем-то исключительным. Нерешенными остаются вопросы времени поддержания высокой температуры и количества энергии, перешедшей в тепло, способной вызвать реакцию синтеза углеводородов. Для угля подобные исследования проводились В. Н. Опариным и Т. А. Киряевой [12]. Ими установлено, что при сжимающих напряжениях, составляющих 0,5 от разрушающих для образца угля, температура в центре образца была выше на $0,7\text{--}0,9^\circ$, чем на краях. Необходимая удельная энергия для одноосного разрушения образца каменного угля составляет примерно $3,7 \text{ кДж/м}^3$. При мощности внезапного выброса около 100 т угля затраченная энергия на разрушение угля составляет около 285 кДж , т. е. сопоставима с энергией активации процесса образования дополнительного объема метана. Но надо иметь в виду, что если потенциальная энергия горного давления значительно больше этой величины, то ее оставшаяся часть после разрушения идет на повышение кинетической энергии разрушенного объема. На нагрев может пойти только в исключительных случаях, когда нет выноса угля или пород в горные выработки.

Как известно, каменный уголь является углеродным полимером достаточно сложного состава и имеет слоистую структуру. Сердцевина макромолекулы угля является графитоподобной и содержит внутри каждого слоя правильные шестиугольники из атомов углерода. Слои находятся на расстоянии $3,35 \cdot 10^{-10} \text{ м}$ друг от друга [13]. А эффективный диаметр молекулы метана составляет примерно $4,14 \cdot 10^{-10} \text{ м}$. Так что в спокойном залегании при процессах сорбции-десорбции метан в межслоевую структуру угля проникнуть не может. Можно предположить, что молекулы метана могли там оказаться в отдаленные геологические периоды, когда шли процессы углеобразования из растительных остатков, горное давление еще не было сформировано [14], а температура была достаточно высокой. Вследствие процессов углеобразования в межплоскостном объеме может располагать-

ся значительное число образовавшихся молекул метана. Вследствие того, что межслоевые расстояния меньше эффективного диаметра молекулы метана, они остаются там практически неподвижными до момента разрушения слоев. В этом случае можно говорить об «интеркаляционной» форме связи метана с макромолекулой угля, которая может нарушаться (а метан высвобождаться) только в процессе механического разрушения.

Необходимо отметить возможность существования для графита искусственных «интеркалятов» [14, 15].

В межплоскостное пространство графита вводятся молекулы азотной или серной кислоты, имеющие размеры больше, чем межплоскостное расстояние. В результате происходит либо раздвигание слоев, либо нарушение внутренней структуры, обеспечивающее другим молекулам «облегченный» вход в межслоевое пространство.

Цель работы. В работах [14, 16] показано, что на единицу органической массы угля в «интеркаляционной» форме связи метана с угольной матрицей может находиться до 4,17 молей газа, что эквивалентно 90 м³/т.

Целью данной статьи является проверка гипотезы наличия в каменном угле метана, находящегося с матрицей в иных, не сорбционных формах связи, но способного переходить в газообразное состояние при механодеструкции, т. е. при разрушении угля.

Таблица 1. Характеристики угольных пластов
Table 1. Characteristics of coal seams

Пласт	Марка угля	Мощность m	Крепость f	Пористость Π , %	Влажность W , %	Угол падения пласта α , град	Плотность ρ , кг/м ³	Природная газоносность, м ³ /т
Толмачевский	Г	2,35–2,50	1,3	5,5	5,1	1–50	1440	12–17
10	ГЖ	1,9–2,2	1,4	7,8	0,8		1420	10–12
Поленовский	Г	1,72–2,4	1,5–2	3,6	4–6	39	1390	9–10
7-7а	ГЖ	4,1	1,4	7,4	0,8		1490	12–15
XXIV	К	0,71–1,8	1,1	3,5	3,8		1420	15–18

Методология. С этой целью на ряде пластов угольных шахт Кузбасса были отобраны пробы угля с помощью керноотборника на расстоянии 3,0–3,5 м от борта выработки. На каждом участке пласта отбиралось по две пробы, одна из которых помещалась в герметичный контейнер и доставлялась в лабораторию для исследования газовыделения при последовательной механодеструкции. Другая проба также подвергалась механодеструкции, с ее помощью измеряли средне-взвешенный размер частиц угля.

Проба угля для измерения газовыделения помещалась в герметичный цилиндрический стакан, содержащий стальной стержень для разрушения угля, в крышку стакана были вмонтированы кран со штуцером для подключения манометра и термосопротивление для контроля измерения температуры. Процесс дробления угля осуществлялся путем вращения стакана в течение 1 мин, после 5-минутной выдержки производилось измерение давления газа и температуры. Если давление газа в стакане после разрушения составляло около 10 кПа, то газ отбирался из стакана и подвергался хроматографическому анализу. Первоначальное давление в стакане, зависящее от природной газоносности пласта и начальной скорости газоотдачи угля, измерялось через 2–2,5 ч. С каждым новым циклом, по мере дробления пробы, уменьшался средне-взвешенный размер частиц угля, который

определялся по второй пробе с помощью ситового анализа и рассчитывался по формуле

$$\langle d_n \rangle = \frac{\sum_{i=1}^N d_i \Delta m_i}{m}, \tag{1}$$

где N – число циклов разрушения; Δm_i – масса частиц угля диаметром $d \geq d_i$; d_i – диаметр частиц, определенный номером сита; m – масса пробы угля. В табл. 1 представлены характеристики исследуемых угольных пластов.

На рис. 1 показана зависимость диаметра частиц угля от количества циклов разрушений, включающих 1 мин разрушения пробы и 5 мин выдержки.

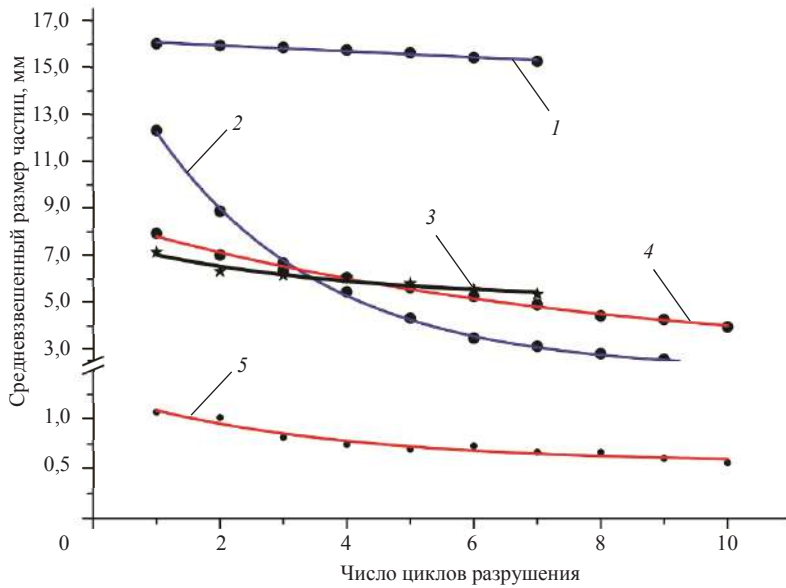


Рис. 1. Изменение средневзвешенного размера частиц угля в зависимости от числа циклов дробления:

1 – пласт Толмачевский шахты «Комсомолец», г. Ленинск-Кузнецкий; 2 – пласт 10 шахты «Распадская», г. Междуреченск; 3 – пласт Поленовский шахты «Кирова», г. Ленинск-Кузнецкий; 4 – пласт 7-7а шахты «Распадская», г. Междуреченск; 5 – пласт XXIV шахты «Первомайская», г. Березовский

Fig. 1. Change in the average weighed size of coal particles has been determined depending on the number of grinding cycles:

1 –Tolmachevsky seam of Komsomolets mine, Leninsk-Kuznetsky town; 2 – seam 10 of the Raspadskaya coal mine, Mezhdurechensk town; 3 – Polenovsky seam of Kirova mine, Leninsk-Kuznetsky town; 4 – 7-7a seam of the Raspadskaya coal mine, Mezhdurechensk town; 5 – seam XXIV of Pervomaiskaya mine, Berzovskiy town

Для исследования отбирались пробы примерно одинакового объема. При разрушении в одинаковое количество циклов уголь вел себя по-разному: один уголь (более слабый) разрушался в два-три цикла и выделял при этом практически весь газ, находившийся в связи с макромолекулой, а другой (более крепкий) разрушался не сразу и газ отдавал последовательно в каждом цикле и в большем объеме по сравнению со слабым углем.

По результатам измерения газовыделения при разрушении пробы угля рассчитывали число молей выделившегося газа, приходящееся на единицу массы угля, моль/кг:

$$\Delta v' = \frac{1}{m} \cdot \frac{\left(\Delta P_0 + \sum_{i=1}^N \gamma \exp\left(\frac{-\langle d_i \rangle + b}{c} \right) \right) V}{RT_1},$$

где ΔP_0 – исходное давление газа в стакане, Па; γ , b , c – постоянные, определяемые для каждого пласта по экспериментальным значениям, Па; $\langle d \rangle$ – средневзвешенный размер частиц после очередного цикла разрушения, мм; R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль · К; T_1 – термодинамическая температура при разрушении, которая составляла 294,5° С; V – объем пробы газа.

Объем пробы газа находили с учетом объемов стакана, угля, железного стержня.

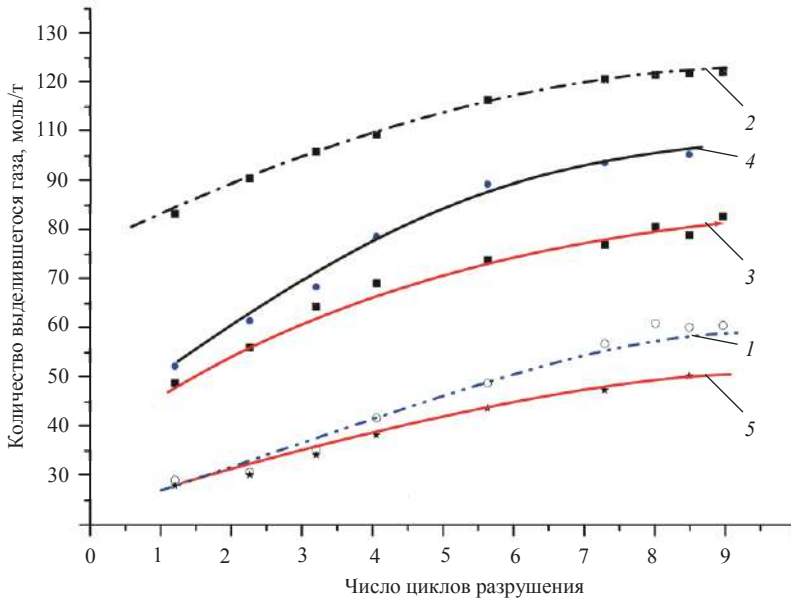


Рис. 2. Изменение количества выделившегося из угля газа в зависимости от числа циклов дробления:

1 – пласт 10 шахты «Распадская», г. Междуреченск; 2 – пласт 7-7а шахты «Распадская», г. Междуреченск; 3 – пласт XXIV шахты «Первомайская», г. Березовский; 4 – пласт Толмачевский шахты «Комсомолец», г. Ленинск-Кузнецкий; 5 – пласт Поленовский шахты «Кирова», г. Ленинск-Кузнецкий

Fig. 2. Change in the amount of gas liberated from coal depending on the number of grinding cycles:

1 – seam 10 of the Raspadskaya coal mine, Mezhdurechensk town; 2 – 7-7a seam of the Raspadskaya coal mine, Mezhdurechensk town; 3 – seam XXIV of Pervo-maikaya mine, Berezovsky town; 4 – Tolmachevsky seam of Komsomolets mine, Leninsk-Kuznetsky town; 5 – Polenovsky seam of Kirova mine, Leninsk-Kuznetsky town

Удельное газовыделение, приведенное к нормальным условиям, было рассчитано по формуле:

$$V = \frac{\Delta v z R T}{P_{\text{атм}}},$$

где z – коэффициент сжимаемости газа; R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль · К; T_0 – термодинамическая температура, равная 273 К; $P_{\text{атм}}$ – атмосферное давление, равное $1,013 \cdot 10^5$ Па.

Результаты. На рис. 2. приведены экспериментальные зависимости удельного газовыделения из проб угля для пластов 7-7а и 10 шахты «Распадская», пласта Толмачевский шахты «Комсомолец», пласта Поленовский «Шахты имени Кирова» и пласта 24 шахты «Березовская» в зависимости от числа циклов разрушения в пересчете на тонну угля.

В табл. 2 приведены результаты определения суммарного количества молей газа, выделившегося при механодеструкции проб угля. Также приведены результаты расчета объемов выделившегося газа, приведенные к нормальным условиям.

Какие газы выделяются при механодеструкции пробы угля? На этот вопрос был получен ответ после проведения хроматографического анализа проб газа, которые отбирались из стакана после очередного цикла разрушения. На рис. 3 представлены результаты измерений состава выделившегося газа из пробы угля с пластов 7-7а и 10 шахты «Распадская», пласта «Толмачевский» шахты «Комсомолец», пласта Поленовский «Шахты имени Кирова».

Анализ изменения состава газа в стакане показал, что после каждого цикла разрушения концентрация метана и других углеводородов, в том числе окиси и двуокиси углерода, увеличивалась, а кислорода – уменьшалась. Так, после шестого цикла разрушения концентрация метана возросла в 5,6 раза и составила 52 %, концентрация этана – в 2,6 раза, окиси углерода – в 4 раза, а концентрация кислорода уменьшилась с 17,8 % до 7,6 %.

Таблица 2. Результаты определения и расчета объемов выделившегося газа при механодеструкции угля

Table 2. Results of the determination and assessment of the amount of gas liberated under coal mechanical degradation

Пласт	Количество газа Δv , моль/т	Удельный объем V , м ³ /т
10, шахта «Распадская» г. Междуреченск	518,7	10,3
7-7а, шахта «Распадская» г. Междуреченск	1026,1	20,4
XXIV, шахта «Первомайская» г. Березовский	736,2	14,6
Толмачевский, шахта «Комсомолец» г. Ленинск-Кузнецкий	293,2	5,8
Поленовский, шахта «Кирова» г. Ленинск-Кузнецкий	522,3	10,4

Уменьшение концентрации кислорода вполне объяснимо, так как первоначально проба газа содержала воздух, в котором концентрация кислорода составляла 21,8 %.

Таким образом, разрушение угольной пробы приводит к нарушению внутренних связей в твердом углегазовом растворе и выделению дополнительных объемов «угольных» газов.

Проведенные исследования позволяют предположить, что основная масса газа, выделяющегося при внезапном выбросе угля и газа, в исходном состоянии находится в достаточно сильной связи с макромолекулой угля. Но при импульсном воздействии механических нагрузок при ведении очистных или буровзрывных работ на соседних участках или пластах происходит разрушение отдельных зон угля и интенсивное газовыделение. Выбросоопасная ситуация может возникнуть на пластах, имеющих малую проницаемость и сохраняющих высокое газовое давление вблизи забоя выработки. При этом может реализоваться модель, представленная С. А. Христиановичем, согласно которой под действием первоначального механического импульса возникают волна дробления, распространяющаяся в сторону массива, и волна выброса, распространяющаяся в сторону забоя выработки.

Выводы. Показано, что выделение значительного количества метана при внезапных выбросах угля и газа невозможно объяснить только в рамках существова-

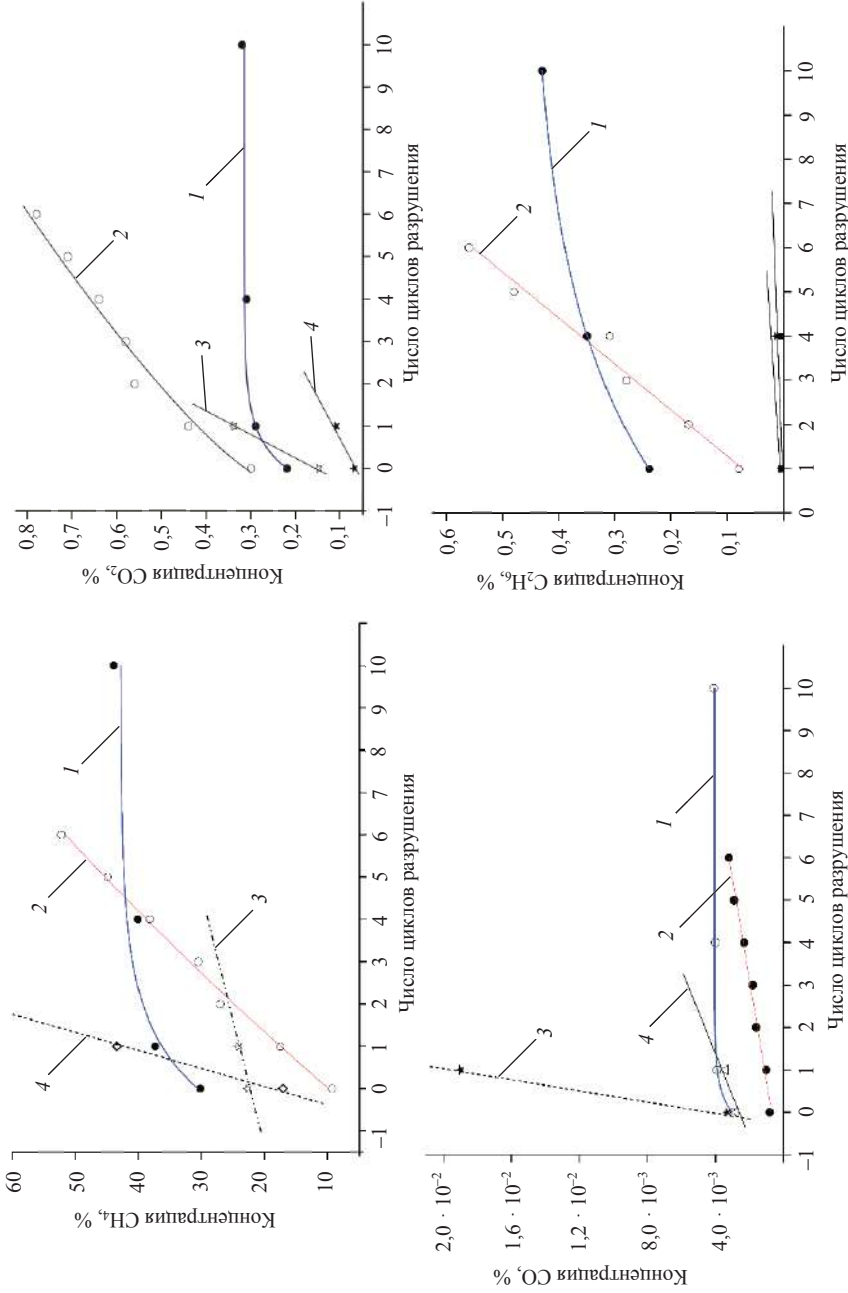


Рис. 3. Изменение концентрации газов в пробах угля после разрушения: 1 – пласт 10 шахты «Распадская», г. Междуреченск; 2 – пласт 7-7а шахты «Распадская», г. Междуреченск; 3 – пласт Толмачевский шахты «Комсомолец», г. Ленинск-Кузнецкий; 4 – пласт Поленовский шахты «Кирова», г. Ленинск-Кузнецкий

Fig. 3. Change in the concentration of gases in a coal sample after destruction: 1 – seam 10 of the Raspadskaya coal mine, Mezhdurechensk town; 2 – 7-7a seam of the Raspadskaya coal mine, Mezhdurechensk town; 3 – Tolmachevsky seam of Komsomolets mine, Leninsk-Kuznetsky town; 4 – Polenovsky seam of Kirova mine, Leninsk-Kuznetsky town

ния свободного и сорбированного метана. По всей видимости, значительная часть «угольных» газов находится в угольной матрице в конденсированном состоянии и образует с макромолекулой твердый углегазовый раствор.

Установлено, что при механодеструкции угля происходит разрыв внутримолекулярных связей атомов углерода с «бахромой», а также между графитоподобными слоями углеродной решетки, что приводит к высвобождению значительного количества газа и переходу его в свободное состояние.

Хроматографический анализ газов, выделившихся после механодеструкции пробы угля, показал, что количество метана, перешедшее при этом в свободное состояние, превышает аналогичное количество других газов.

Получено, что при механодеструкции проб угля, взятых на участке угольного пласта, склонного к внезапным выбросам угля и газа, выделяется количество метана, превышающее количество газа, выделившееся при механодеструкции проб угля, взятых из неопасных зон.

Разработана методика определения газовыделения из угля при его механодеструкции, позволяющая выявлять участки угольного пласта в пределах шахтного поля, потенциально опасные по внезапным выбросам угля и газа.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Малинникова О. Н., Фейт Г. Н. Эффект образования метана и дополнительной сорбции при разрушении газонасыщенного угля в условиях объемного напряженного состояния // ГИАБ. 2004. № 8. С. 196–200.
2. Малинникова О. Н. Условия образования метана из угля при разрушении // ГИАБ. 2001. № 5. С. 95–99.
3. Чернов О. И., Розанцев Е. С. Предупреждение внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах. М.: Недра, 1965. 211 с.
4. Ходот В. В., Яновская М. Ф., Премыслер Ю. С. Газовыделение из угля при его разрушении // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1966. № 6. С. 3–11.
5. Дырдин В. В., Опарин В. Н., Фофанов А. А., Смирнов В. Г., Ким Т. Л. О возможном влиянии вторичных осадков основной кровли при отработке угольных пластов на их выбросоопасность при разложении газовых гидратов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2017. № 5. С. 3–14.
6. Алексеев А. Д. Метан угольных пластов. Формы нахождения и проблемы извлечения // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. Днепропетровск: ИГТМ НАНУ, 2010. Вып. 87. С. 10–15.
7. Fischer F. Preparation of synthetic // Brennstoff. Chem. 1923. Vol. 4. P. 276–285.
8. Фальбе Ю. М. Химические вещества из угля. М.: Химия, 1984. 616 с.
9. Proskurovski G., Lilley M. D., Seewald J. S., Früh-Green G. L., Olson E. J., Lupton J. E., Sylva S. P., Kelley D. S. Abiogenic hydrocarbon production at Lost City hydrothermal field // Science. 2008. Vol. 319. No. 5863. P. 604–607.
10. Гаврилюк В. Г., Шанина Б. Д., Скоблик А. П., Кончин А. А., Колесник В. Н., Ульянова Е. В. Механизм формирования угольного метана // ГИАБ. 2015. № 8. С. 211–220.
11. Менжулин М. Г., Монтиков А. В., Васильев С. В. Физические процессы образования метана при разрушении угля // Записки Санкт-Петербургского Горного института. Геология. 2014. Т. 207. С. 222–225.
12. Опарин В. Н., Киряева Т. А., Гаврилов В. Ю., Шутилов Р. А., Ковчавцев А. П., Танайно А. С., Ефимов В. П., Астраханцев И. Е., Гренев И. В. О некоторых особенностях взаимодействия между геомеханическими и физико-химическими процессами в угольных пластах Кузбасса // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 2. С. 3–30.
13. Глинка Н. А. Общая химия. М.: Интеграл-Пресс, 2003. 728 с.
14. Смирнов В. Г., Дырдин В. В., Исмагилов З. Р., Ким Т. Л., Манаков А. Ю. О влиянии форм связи метана с угольной матрицей на газодинамические явления, возникающие при подземной разработке угольных пластов // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. Вып. 1. С. 34–41.
15. Сорокина Н. Е., Никольская И. В., Ионов С. Г., Авдеев В. В. Интеркалированные соединения графита акцепторного типа и новые углеродные материалы на их основе // Известия Академии наук. Серия химическая. 2005. № 8. С. 1699–1716.
16. Smirnov V. G., Dyrdin V. V., Ismagilov Z. R., Manakov A. Y., Ukraintseva E. A., Villevald G. V., Karpova T. D., Terekhova I. S., Ogienko A. G., Lyrshchikov S. Y. Formation and decomposition of methane hydrate in coal // Fuel. 2016. T. 166. C. 188–195.

Сведения об авторах:

Дырдин Валерий Васильевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры физики Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: vvd1941@mail.ru

Ким Татьяна Леонидовна – кандидат технических наук, и. о. заведующего кафедрой физики Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: tanyakim@list.ru

Фофанов Андрей Алексеевич – старший преподаватель кафедры физики Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева. E-mail: thunder55@mail.ru

Плотников Евгений Анатольевич – кандидат технических наук, заместитель начальника участка аэрологической безопасности шахты «Распадская». E-mail: plotnikov_ea@raspadsкая.com

Воронкина Наталья Михайловна – начальник отдела контроля динамических явлений и мониторинга массива горных пород СУЭК-Кузбасс. E-mail: voronkinanm@suek.ru

DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-44-53

Gas emission under coal mechanical degradation**Valerii V. Dyrdin¹, Tatiana L. Kim¹, Andrei A. Fofanov¹, Evgenii A. Plotnikov², Natalia M. Voronkina³**¹ T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russia.² Rapsadskaya coal mine, Mezhdurechensk, Russia.³ SUEK-Kuzbass, Leninsk-Kuznetsky, Russia.**Abstract**

Introduction. Hard coal underground mining safety is inextricably bound up with the measures aimed at the reduction of gas development from the margins of coal seams. At the present time there is no accurate answer to the question why under gas and coal outbursts, specific emission overruns natural gas content by several times. In this regard the scientific task of studying gas emission under coal mechanical degradation is relevant.

Research aim. The present article aims to test the hypotheses of the presence of methane in hard coal, being in other; not sorption bonds, with the matrix, but being able to transfer into gaseous state under mechanical degradation, i.e. coal destruction.

Methodology. The authors collected coal samples from the seams of coal mines of Kuzbass. The character of change in the average weighed size of coal particles has been determined depending on the number of destruction cycles. The results of the chromatographic analysis of gas liberated under the coal samples destruction are introduced.

Results. It has been stated that under the destruction coal samples, collected at the margin of mine influence, "coal" gas is intensively liberated, methane having the higher concentration. It has been stated that under coal mechanical degradation there is a breaking of bonds between the atoms of carbon with "fringes", and between the graphite-like layers of carbon grating, which leads to the liberation of a significant amount of gas and its transition into the unbound state.

Summary. The method of experimental determination of specific gas emission has been worked out, making it possible to assess the tendency of a coal seam to coal and gas outbursts.

Key words: coal destruction; gas emission; mechanical degradation; coal seam; outbursts.

REFERENCES

1. Malinnikova O. N., Feit G. N. Effect of methanogenesis and additional sorption under gas-saturated coal destruction in the conditions of three-dimensional stress state. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2004; 8: 196–200. (In Russ.)
2. Malinnikova O. N. Conditions of methane liberation from coal under destruction. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2001; 5: 95–99. (In Russ.)
3. Chernov O. I., Rozantsev E. S. *Coal and gas outburst prevention in coal mines*. Moscow: Nedra Publishing; 1965. (In Russ.)
4. Khodot V. V., Ivanovskaya M. F., Premysler Iu. S. Gas emission from coal under coal destruction. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 1966; 6: 3–11. (In Russ.)
5. Dyrdin V. V., Oparin V. N., Fofanov A. A., Smirnov V. G., Kim T. L. Possible effect of main roof settlement on outburst hazard in case of gas hydrate dissociation during coal mining. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2017; 5: 3–14. (In Russ.)
6. Alekseev A. D. Methane in coal seams. Forms and extraction problems. In: *Geotechnical mechanics: interauthority collection of scientific articles*. Dnepropetrovsk: IGTM NANU Publishing; 2010; 87: 10–15. (In Russ.)
7. Fischep F. Preparation of synthetic. *Brennstoff. Chem.* 1923; 4: 276–285.
8. Falbe Iu. M. *Chemicals from coal*. Moscow: Khimiia Publishing; 1984. (In Russ.)

9. Proskurowski G., Lilley M. D., Seewald J. S., Früh-Green G. L., Olson E. J., Lupton J. E., Sylva S. P., Kelley D. S. Abiogenic hydrocarbon production at Lost City hydrothermal field. *Science*. 2008; 319 (5863): 604–607.
10. Gavriluk V. G., Shanina B. D., Skoblik A. P., Konchin A. A., Kolesnik V. N., Ulianova E. V. A mechanism for formation of coal methane. *Gornyi informatsionno-analiticheskii biulleten (nauchno-tehnicheskii zhurnal) = Mining Informational and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2015; 8: 211–220. (In Russ.)
11. Menzhulin M. G., Montikov A. V., Vasiliev S. V. Physical processes of methanogenesis under coal destruction. *Zapiski Sankt-Peterburgskogo Gornogo instituta. Geologiya = Journal of Mining Institute. Geology*. 2014; 207: 222–225. (In Russ.)
12. Oparin V. N., Kiriaeva T. A., Gavrilov V. Iu., Shutilov R. A., Kovchavtsev A. P., Tanaino A. S., Efimov V. P., Astrakhantsev I. E., Grenev I. V. Interaction of geomechanical and physicochemical processes in Kuzbass coal. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh = Journal of Mining Science*. 2014; 2: 3–30. (In Russ.)
13. Glinka N. A. *General chemistry*. Moscow: Integral-Press Publishing; 2003. (In Russ.)
14. Smirnov V. G., Dyrdin V. V., Ismagilov Z. R., Kim T. L., Manakov A. Iu. On the influence of the forms of the connection of methane with the coal matrix on the gas dynamic phenomena arising in the underground development of coal seams. *Vestnik nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoi promyshlennosti = Industrial Safety*. 2017; 1: 34–41. (In Russ.)
15. Sorokina N. E., Nikolskaia I. V., Ionov S. G., Avdeev V. V. Acceptor-type graphite interaction compounds and new carbon materials based on them. *Izvestiia Akademii nauk. Seriya khimicheskaya = Russian Chemical Bulletin*. 2005; 8: 1699–1716. (In Russ.)
16. Smirnov V. G., Dyrdin V. V., Ismagilov Z. R., Manakov A. Y., Ukraintseva E. A., Villevald G. V., Karpova T. D., Terekhova I. S., Ogienko A. G., Lyrshchikov S. Y. Formation and decomposition of methane hydrate in coal. *Fuel*. 2016; 166: 188–195.

Received 5 April 2019

Information about authors:

Valerii V. Dyrdin – DSc (Engineering), Professor, professor of the Department of Physics, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: vvd1941@mail.ru

Tatiana L. Kim – DSc (Engineering), acting Head of the Department of Physics, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: tanyakim@list.ru

Andrei A. Fofanov – senior lecturer of the Department of Physics, T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. E-mail: thunder55@mail.ru

Evgenii A. Plotnikov – PhD (Engineering), assistant foremaster of aerological safety section at the Rospadskaya coal mine. E-mail: plotnikov_ea@raspadskaya.com

Natalia M. Voronkina – manager of control over the dynamic conditions and rock massif monitoring at SUEK-Kuzbass. E-mail: voronkinanm@suek.ru

Для цитирования: Дырдин В. В., Ким Т. Л., Фофанов А. А., Плотников Е. А., Воронкина Н. М. Газовыделение при механодеградации угля // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 44–53. DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-44-53

For citation: Dyrdin V. V., Kim T. L., Fofanov A. A., Plotnikov E. A., Voronkina N. M. Gas emission under coal mechanical degradation. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 5: 44–53 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2019-5-44-53