ISSN 1607-4556 (Print), ISSN 2309-6004 (Online) Геотехнічна механіка. 2014. №118

УДК622.831.622:831.325

Притула Д.А., магистр,
Гаврилов В.И., канд. техн. наук, ст. науч. сотр.
(ИГТМ НАН Украины),
Московский О.В., аспирант
(ОП «Шахта им. Ф.Э. Дзержинского»
ГП «Дзержинскуголь»)

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАНА НА ГАЗООТДАЧУ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА

Притула Д.О., магістр,
Гаврилов В.І., канд. техн. наук, ст. наук. співроб.
(ІГТМ НАН України),
Московський О.В., аспірант
(ВП «Шахта ім. Ф.Е. Дзержинського»
ДП «Дзержинськвугілля»)

ВПЛИВ ФАЗОВОГО СТАНУ МЕТАНУ НА ГАЗОВІДДАЧУ ВУГІЛЬНОГО ПЛАСТА

Prytula D.A., M.S. (Tech.),
Gavrilov V.I., Ph.D. (Tech.), Senior Researcher
(IGTM NAS of Ukraine),
Moskovskiy O.V., Doctoral of Student
(SE «Mine name by F.E. Dzerzhynskogo»
SE« Dzerzhynskvugillia»

INFLUENCE OF THE PHASE STATE OF METHANE THE GAS EMISSION OF THE COAL BED

Аннотация. Характер метановыделения - от спокойного выделения газа в горные выработки и скважины до внезапного выброса, а так же степень измельчения угля зависят от микроструктуры угля. Структурные различия, обусловливающие газодинамические свойства пластов, находят отражение в диффузионно-кинетических параметрах углей. В основу метода расчета диффузионных параметров положен принцип определения количества метана в газонасыщенных образцах угля двух фракций в процессе десорбции метана методом ЯМР. По коэффициенту диффузии газа можно судить о склонности пласта к газоотдаче и газодинамическим явлениям. Приведен расчет величин коэффициентов диффузии и энергии активации диффузии. Установлено, что коэффициент диффузии образцов углей из пластов, склонных к газодинамическим явлениям, меньше величин 10^{-12} см^2/с. Величины измеренных коэффициентов диффузии метана в угольных пробах пласта m_3 от 10^{-10} до 10^{-11} м^2/с соответствуют твердотельной диффузии и подтверждают нахождение метана в угле в виде твердого раствора. При понижении температуры сорбированной воды фазовый переход лежит в интервале 243-173 ^0K в зависимости от марки угля, а температура фазового перехода сорбированного метана лежит ниже 103°^0K. Сорбированная вода из водо-метановой смеси переходит в кристаллоподобное состояние при той же температуре, что и вода в увлажненном образце. Сорбированный метан остается в подвижном состоянии.

© Д.А. Притула, В.И. Гаврилов, О.В. Московский, 2014

ISSN 1607-4556 (Print), ISSN 2309-6004 (Online) Геотехнічна механіка. 2014. №118

Потенциальный барьер, тормозящий движение молекул, составляет для воды адсорбированной на угле 6,6 ккал/моль. В результате проведенных экспериментальных исследований в промышлен-ных условиях ОП «Шахта им. Ф.Э. Дзержинского» ГП «Дзержинскуголь» на пласте $l_7^в$-«Пугачевка» эффективности гидродинамического воздействия через подземные скважины установлено, что содержание газа в угольных пробах, отобранных в окрестности техноло-гической скважины радиусом до 20 м, значительно меньше, чем в необработанном масси-ве, а содержание физически связанной воды в угле в 1,7 раза больше фонового.

Ключевые слова: газовыделение, микроструктура угля, диффузионно-кинетические параметры, твердотельная диффузия, сорбированные вода и метан, гидродинамическое воздействие.

Введение. Изучение газоносности ископаемого угля, сорбционных процессов и фазового состояния метана в нем имеет важное научное и практическое значение [1, 2].

При вскрытии и разработке метанонасыщенных угольных пластов происходит десорбция и выделение метана, сопровождающиеся разрушением угольного вещества. Характер метановыделения - от спокойного выделения газа в горные выработки и скважины до внезапного выброса, а так же степень измельчения угля зависят от микроструктуры угля [3].

В качестве характеристик микроструктуры угля рассматривается размер ненарушенного фрагмента - микропористой, сорбционной частицы угля, не содержащей дефектов крупнее 4 *Нм* (*R*), и коэффициент диффузии метана (*D*).

Микроструктура угля зависит от многих горно-геологических факторов: глубины залегания, степени метаморфизма, петрографического состава, геологической нарушенности.

Известна приуроченность экстраординарных газопроявлений при разработке угольных пластов к наличию в этих пластах тектонических нарушений. При этом существуют различия между диффузионно-кинетическими параметрами угля, отобранного из зоны нарушения, и вне её. По мере приближения к зоне нарушения происходит закономерное уменьшение *R* и *D*. Минимальные их значения наблюдаются в зонах нарушения.

Структурные различия, обусловливающие газодинамические свойства пластов, находят отражение в диффузионно-кинетических параметрах углей.

Величины *R* и *D* углей выбросоопасных пластов в два-три раза меньше, чем углей пластов, неопасных по газодинамическим явлениям.

Как показали исследования, размер ненарушенного фрагмента и коэффициент диффузии образцов углей из пластов, склонных к газодинамическим явлениям, меньше величин 10^{-3} см и 10^{-12} см^2/с, а для невыбросоопасных пластов эти параметры больше указанных величин. Таким образом, по размеру ненарушенного фрагмента и коэффициенту диффузии газа можно судить о склонности пласта к газоотдаче и газодинамическим явлениям.

Природный уголь является сложным продуктом длительного воздействия на растительные остатки биологических, химических и тектонических факторов в условиях больших давлений и температур. В ходе физико-структурного мета-

морфизма под влиянием давления вышележащих пород и выхода газообразных продуктов сформировалась дисперсная пористо-трещиноватая структура углей [4, 5]. Поры углей, подразделяются на два класса: открытые - полости и каналы, связанные с внешней поверхностью твердого тела и закрытые - не связанные с внешней поверхностью [6]. Такое разделение на классы логично, если предположить возможность миграции молекул газа в закрытые поры и обратно путем твердотельной диффузии [7]. Отмечено существенное отличие коэффициентов диффузии молекул газа в самых «узких» фильтрационных каналах $D \geq 10^{-4}$ см^2/с и твердотельной диффузии $D_т$ менее 10^{-8} см^2/с [8].

Вопрос о типах емкостей тесно связан с определением форм нахождения метана в пласте угольного вещества. В настоящее время в этом вопросе практически нет ни одного понятия, которое не подвергалось бы сомнению и критике. Такое положение в физике угля связано со сложностью и многогранностью взаимодействий в системе «уголь-метан». Одним из объяснений присутствия большого количества метана в шахтах может быть предположение, что метан находится в угле в некоем сконденсированном состоянии. Однако, в жидком состоянии метан в угольных пластах состоять не может, поскольку его критическая температура равна 190,5 ^0K. В пластах такие температуры немыслимы. Но и представление о чисто физической адсорбции как концентрировании адсорбата из газовой фазы на поверхности твердого тела практически неприменимо к системе «уголь-метан», поскольку фактически находящееся в угле количество метана превышает рассчитанное на основании модели физической адсорбации. Кроме того, о протекании твердотельной диффузии в углях свидетельствует длительность процесса сорбции-десорбции, который на порядок медленнее, чем десорбция с поверхности и фильтрация газа из открытых пор. Существует мнение, что в зависимости от размера полостей, метан в угольном веществе находится не только в свободном и адсорбированном, но и в абсорбированном (твердый раствор) состоянии. Свободный и адсорбированный метан заполняет макропоры, мезопоры, трещины и межблочные промежутки, абсорбированный - содержится в межмолекулярном пространстве угольного вещества. Для подтверждения этого предположения были проведены экспериментальные исследования определения фазового состояния метана в ископаемых углях по методике, изложенной в [9].

Основная часть. В основу метода расчета диффузионных параметров положен принцип определения количества метана в газонасыщенных образцах угля двух фракций в процессе десорбции метана методом ЯМР. Из угольных проб отбирались две фракции с размером частиц R_1 = 0,25-0,5 мм и R_2 = 2,0-2,5 мм. Угольные пробы вакуумировали в течение 3 часов и насыщали метаном под давлением 10 МПа в течение 48 часов в специальной установке.

Газонасыщенные пробы угля каждой фракции последовательно помещали в измерительный контур установки ЯМР. После этого в течение 3 мин производили запись узкой и широкой линии спектра ЯМР, определяющих количество резонирующих ядер протонов водорода, ответственных за структуру угля и содержание метана.

ISSN 1607-4556 (Print), ISSN 2309-6004 (Online) Геотехнічна механіка. 2014. №118

По результатам измерений определяли исходное содержание протонов водорода метана в пробе каждой фракции по формуле

$$W = \frac{\Delta S_{\text{уз}}}{\Delta S_{\text{шир}}}, \quad (1)$$

где $\Delta S_{\text{уз}}$ и $\Delta S_{\text{шир}}$ - площади соответственно узкой и широкой линий спектра ЯМР, см^2.

Затем пробы выдерживали в течение 6 часов на воздухе и производили повторную запись линий спектра с определением остаточного количества метана в угле по формуле (1).

Коэффициент диффузии метана из угля определяли по формуле

$$D = \frac{\mu R_1^2 R_2^2}{(R_1^2 - R_2^2)tv} \ln \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (2)$$

где R_1, R_2 - размеры фракций угля, м; **v** - растворимость метана в угольном веществе; $\boldsymbol{\mu}$ - пористость угля (открытая и закрытая); t - время десорбции, с; $\mathbf{Q_{1,2}}$ - относительное изменение количества метана за время десорбции, соответствующее каждой фракции

$$Q_{1,2} = \frac{W_{\text{ср.исх}} - W_{\text{ср}}(t)}{W_{\text{ср.исх}}}.$$

Измерения производили при температуре 291-298 ^0K и нормальном давлении.

Коэффициент диффузии с учетом температуры угольного массива рассчитывали по формуле

$$D = D_0 e^{-\frac{E}{RT}}, \quad (3)$$

где D_0 - параметр диффузии, м^2/с; E - энергия активации диффузии метана из угля, Дж/моль; R - универсальная газовая постоянная, Дж/моль·град; T - температура угольного массива, ^0K.

Расчет энергии производили по формуле

$$E = 2{,}38R\frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} lg\frac{D_1}{D_2}, \quad (4)$$

где T_1 и T_2 - температуры, при которых определяли D_1 и D_2 (T_1= 291-298 ^0K; T_2 =

313-318 ^0K);

При определении коэффициента диффузии время десорбции метана составляло 45-55 мин.

Эксперименты по определению коэффициента диффузии и энергии активации диффузионного процесса проводили на угле марки *К* пласта m_3, отрабатываемого 15 западной лавой ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько». Зависимости изменения массы метана от времени десорбции двух фракций угля представлены на рис. 1.

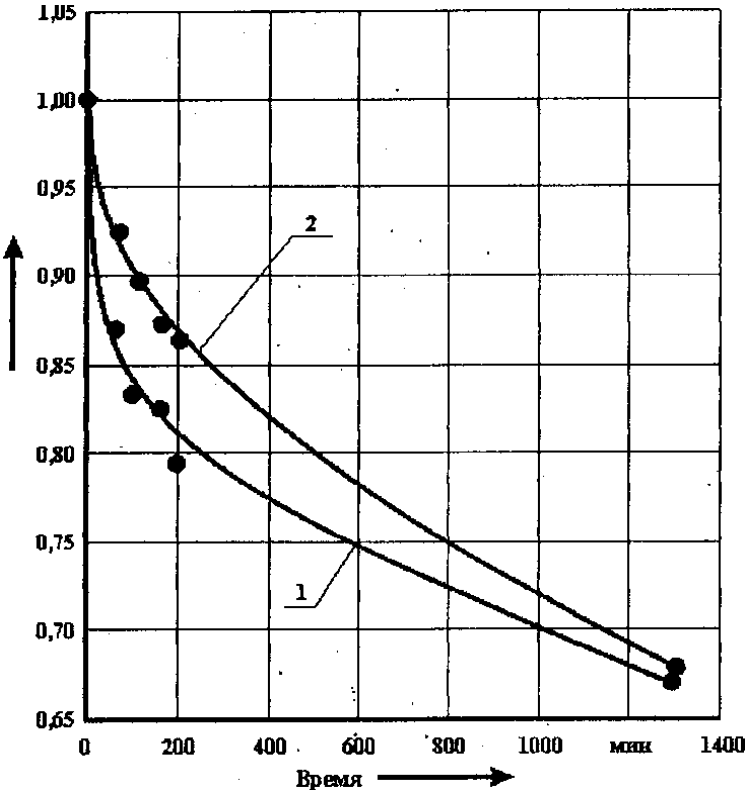


Рисунок 1 – Кинетика выделения метана из угля разных фракций: 1 – 0,25 - 0,50 мм; 2 – 2,00 - 2,50 мм

По формуле (3) эффективный коэффициент диффузии для данной марки угля составил: для крутого участка $D = 3{,}893 \cdot 10^{-10}$ м^2/с, для пологого участка - $D = 3{,}47 \cdot 10^{-11}$ м^2/с. Такое расхождение объясняется наличием в угле закрытых и открытых пор. На начальном этапе дегазации вклад фильтрации метана из открытых пор весьма значителен, что существенно повышает определяемые значения эффективного коэффициента диффузии. Полученные средние значения энергии активации диффузии метана из угля разных марок приведены в табл. 1.

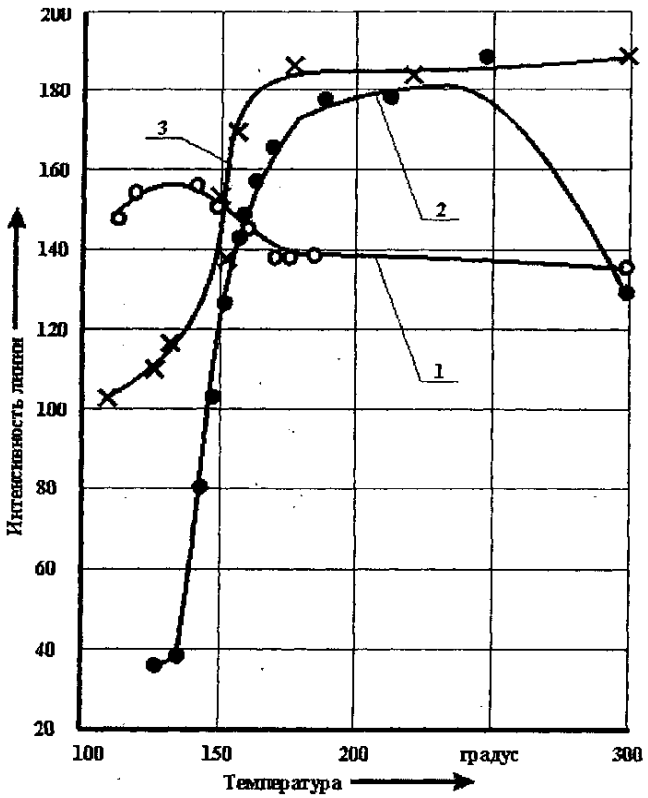
Таблица 1 - Энергия активации диффузии метана

Марка угля	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	А
Энергия активации *Е*, кДж/моль	45,663	41,068	31,866	25,879	29,236	32,594	50,194

ISSN 1607-4556 (Print), ISSN 2309-6004 (Online) Геотехнічна механіка. 2014. №118

Величины измеренных коэффициентов диффузии метана в угольном веществе составили от 10^{-10} до 10^{-11} м^2/с. Эти значения соответствуют твердотельной диффузии и подтверждают нахождение метана в угле в виде твердого раствора.

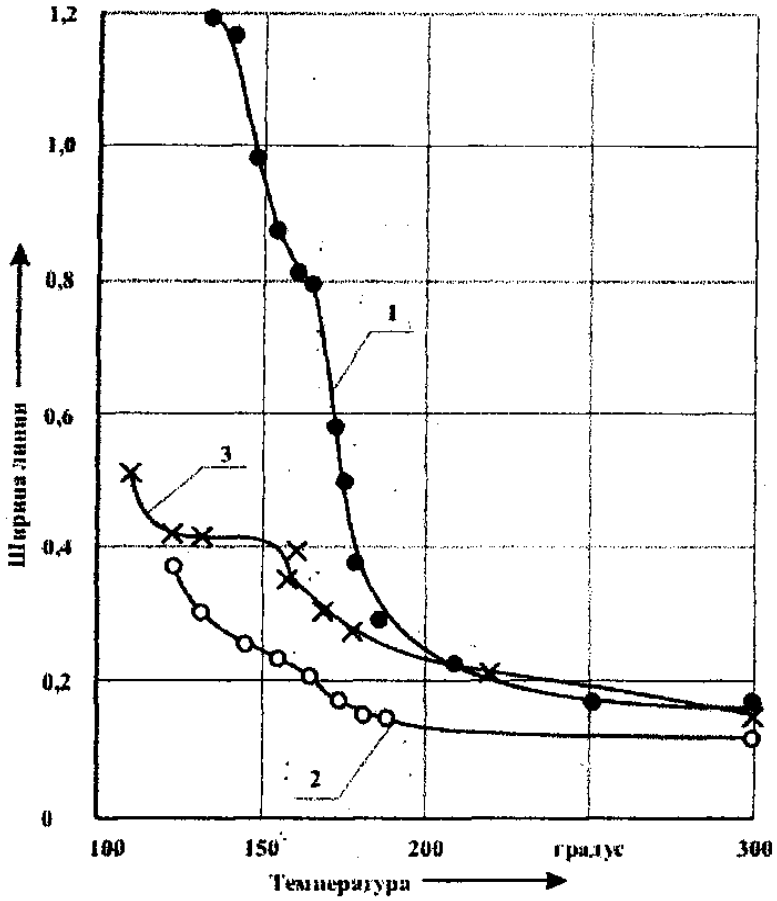
В угольной промышленности для предотвращения газодинамических явлений часто применяют нормативные способы воздействия на угольные пласты, основанные на нагнетании воды и водных растворов ПАВ. Применение метода ЯМР для контроля эффективности воздействия как экспресс - метода, осложняется тем обстоятельством, что в естественном состоянии угля находятся одновременно вода и метан, ширины линий спектра ЯМР которых близки. Интенсивность узкой линии спектра сигнала дает информацию об общем количестве сорбированных молекул H_2O и CH_4, но поскольку механизмы сорбции воды и метана на угле различны, то при изменении температуры эти два флюида будут вести себя по разному. При понижении температуры после фазового перехода в кристаллоподобное состояние молекулы воды вносят вклад в интенсивность широкой линии спектра ЯМР. Для разделения вкладов в узкую линию влаги и метана были проведены исследования по определению влияния температуры водонасыщенных образцов углей на параметры спектра сигналов ЯМР. Отбор проб угля производился из пласта $l_7^в$-«Пугачевка» ОП «Шахта им. Ф.Э. Дзержинского» из средней части трех нижних уступов потолкоуступной лавы №65-1146 м через каждые 5 м подвигания очистного забоя. Результаты исследований представлены на рис. 2 и рис. 3.



1 – метан; 2 – вода; 3 – общая интенсивность

Рисунок 2 – Зависимость интенсивности линии сигналов ЯМР от температуры

Для сорбированной воды фазовый переход лежит в интервале температур 243-173 ^0K в зависимости от марки угля, а температура фазового перехода сорбированного метана лежит ниже 103°^{0}К. На рисунках видно, что сорбированная вода из водо-метановой смеси перешла в кристаллоподобное состояние при той же температуре, что и вода в увлажненном образце. Сорбированный метан остается в подвижном состоянии (с I = 110).



1 – метан; 2 – вода; 3 – общая линия сигнала

Рисунок 3 – Зависимость ширины линии сигналов ЯМР от температуры

Потенциальный барьер, тормозящий движение молекул, составляет для воды адсорбированной на угле Ц=6,6 ккал/моль. Для сорбированного метана значения этого показателя значительно ниже, поэтому в водометановой смеси, сорбированной на углях, фазовый переход для сорбированной воды произойдет значительно раньше, чем для метана. Это явление дает возможность разделить воду и метан.

Проведенными исследованиями было установлено, что в результате гидродинамического воздействия содержание газа в пробах, отобранных в окрестности технологической скважины на расстоянии до 25 м по восстанию и 15 м по простиранию, значительно меньше, чем в необработанном массиве. Относительная интенсивность узкой линии сигнала по сравнению с интенсивностью ши-

ISSN 1607-4556 (Print), ISSN 2309-6004 (Online) Геотехнічна механіка. 2014. №118

рокой линии для угольных образцов, отобранных из зоны обработки, составила в среднем $I_{уз}/I_{шир}$=20-22, а для образцов, отобранных вне зоны обработки, это отношение составило $I_{уз}/I_{шир}$=27-28.

По изменению амплитуд и ширины узкой и широкой линий спектра ЯМР получено содержание физически связанной воды (ФСВ) в зоне обработки. Фоновое значение ФСВ для этих условий составило 0,58-0,65 % (зона 1). После ГДВ вокруг скважины на расстояние до 20 м образуется зона с повышенным в 1,7 раза (зона 3 W=0,81-1,05 %) содержанием ФСВ по сравнению с фоновым (рис. 4).

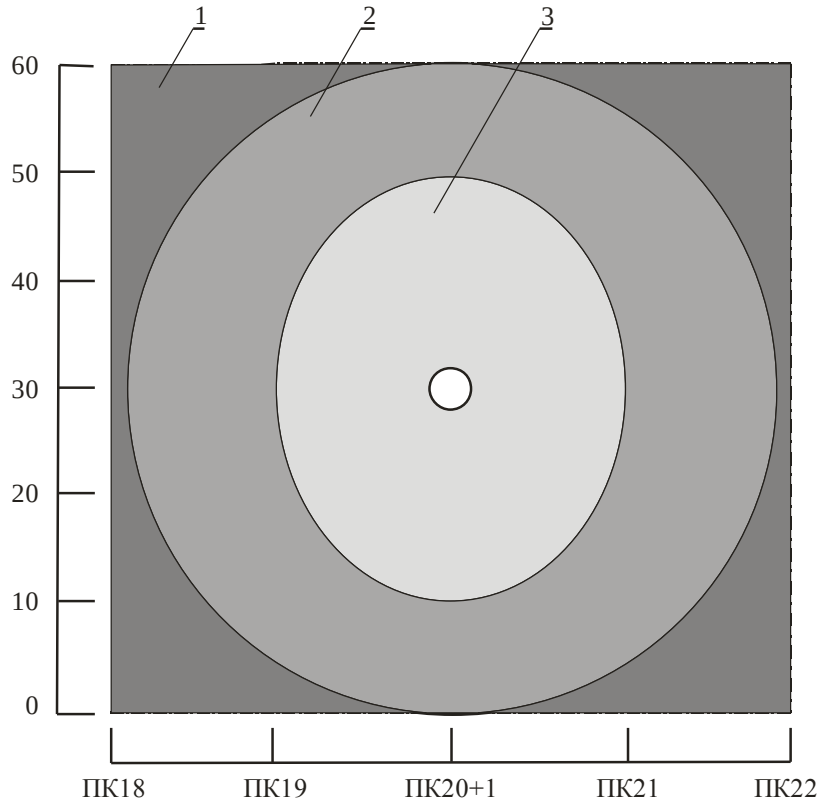


Рисунок 4 – Распределение физически связанной воды в угольном массиве после гидродинамического воздействия в зонах (1-3) с различным содержанием влаги в угле: 1 - $W_{ср}$=0,55-0,60%; 2 - $W_{ср}$=0,61-0,80%; 3 - $W_{ср}$=0,81-1,05%

С удалением от скважины содержание воды в угле уменьшается, но остается в 1,25 раза больше фонового (зона 2 W=0,61-0,80 %).

Таким образом, радиус обработанной зоны гидродинамическим воздействием составил более 20 м при увеличении содержания физически связанной воды в угле в 1,25-1,7 раза по сравнению с фоновым.

Выводы. На основании проведенных лабораторных исследований по изучению влияния фазового состояния метана на газоотдачу угольного пласта можно сделать следующие выводы:

1. Характер метановыделения при разработке газонасыщенных угольных пластов зависит от микроструктуры угля. В качестве характеристик микрост-

руктуры угля рассматривается размер ненарушенного фрагмента – микропористой сорбционной частицы угля, не содержащей дефектов крупнее 4 *Нм* (*R*), и коэффициент диффузии метана (*D*).

2. Размер ненарушенного фрагмента и коэффициент диффузии образцов углей из пластов, склонных к газодинамическим явлениям, меньше величин 10^{-3} см и 10^{-12} $см^2/с$.

3. Величины измеренных коэффициентов диффузии метана в угольном веществе составили от 10^{-10} до 10^{-11} $м^2/с$. Эти значения соответствуют твердотельной диф-фузии и подтверждают нахождение метана в угле в виде твердого раствора.

4. При понижении температуры для сорбированной воды фазовый переход лежит в интервале 243-173 ^0K в зависимости от марки угля, а температура фазового перехода сорбированного метана лежит ниже $103°^0K$. Сорбированная вода из водо-метановой смеси переходит в кристаллоподобное состояние при той же температуре, что и вода в увлажненном образце. Сорбированный метан остается в подвижном состоянии. Потенциальный барьер, тормозящий движение молекул, составляет для воды адсорбированной на угле 6,6 ккал/моль.

5. В результате гидродинамического воздействия содержание газа в угольных пробах, отобранных в окрестности технологической скважины радиусом до 20 м, значительно меньше, чем в необработанном массиве, а содержание физически связанной воды в 1,7 раза больше фонового.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев, И.В. Влияние сорбционных и коллекторских свойств угля на скорость начального газовыделения из шпуров / И.В. Сергеев, Д.И. Бухны // Науч.сообщ. ИГД им. А.А. Скочинского. - М. - 1986. - Вып. 247. - С. 16-21.

2. Лебедев, В.С. Исследование сорбции углеводородов при увлажнении угля / В.С. Лебедев, С.Ю. Телешева, О.В. Скопинцева, А.Ю. Прокопович // Горный журнал. -2009. - №2. - С. 70-71.

3. Ковалева, И.Б. Особенности структурных и диффузионных кинетических характеристик углей в зонах газодинамических явлений / И.Б. Ковалева, Е.А. Соловьева Геотехническая механика : межвед. сб. науч. тр. / ИГТМ им. Н.С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск, 2002. – Вып. 34. – С. 182-186.

4. Бобин, В.А. К вопросу об оценке способности высокогазоносных угольных пластов к газоотдаче с учетом их макроструктуры и особенностей залегания / В.А. Бобин // Горн. инф.-аналит. бюл. - 2001. - Вып.5. - С. 108-112.

5. Трубецкой, К.Н. О возможности повышения газоотдачи угольных пластов на основе управления геомеханическим состоянием углевмещающей толщи / К.Н. Трубецкой, В.В. Гурьянов // Уголь. - 2006. - № 2. - С. 64-66.

6. Prinz, D. Delopment of the meso- and macroporous structure of coals with rank as analyzed with small-angle neutron scattering and adsorption experiments / D. Prinz, W. Pyckhout-Hintzen, R. Littke // Fuel. – 2004. - №4-5. – P. 547-556.

7. Дрындин, В.А. Экспериментальные исследования геофизических параметров и микроструктуры угля выбросоопасных зон угольных пластов / В.А. Дрындин, Т.В. Михина, Д.В. Митрофанов // Горн.информ.аналит.бюл. - 2000. - №7. - С. 210-211.

8. Алексеев, А.Д. Физика угля и горных процессов / А.Д. Алексеев. – К.: Наук. думка, 2010. – 423 с.

9. Лукинов, В.В. Генерация метана из угля и возможности ее оценки методом электронного парамагнитного резонанса / В.В. Лукинов, В.А. Гончаренко, А.В. Бурчак // Горн. инф.-анал. бюл. – 2000. – №8. – С. 85-86.

REFERENCIS

1. Sergeev, I.V. and Bukhny, D.I. (1986), "Effect of sorption and reservoir properties of coal at the rate of gas release from the initial drill holes", *Nauch. soobshch. IGD im. A.A. Skochinskogo*, no. 247, pp. 16-21.

2. Lebelev, V.S., Telesheva, S.Yu, Skopintseva, O.V. and Prokopovich, A.Yu. (2009), "«Research of persorption of hydrocarbons at moistening of coal", *Mining Journal*, vol. 2, pp. 70-71.

3. Kovaleva, I.B. and Solovyev, E.A. (2002), "Structural features and diffusion kinetic characteristics of coals in the areas of gas-dynamic phenomena", *Geotekhnicheskaya Mekhanika* [Geo-Technikal Mechanics], no. 34, pp. 182-186.

4. Bobin, V.A. (2001), "On the question of assessing the ability of Very coalbed gas recovery in view of their occurrence and features of the macrostructure", Gornyy informatsionno-analyticheskiy byulleten, no. 5, pp. 108-112.

5. Trubetskoy, K.N. and Guryanov, V.V. (2006), "On the possibility of enhanced gas coal seams based on the control geomechanical condition accommodating coal layer", *Coal*, no. 2, pp. 64-66.

6. Prinz, D., Pyckhout-Hintzen, W and Littke, R. (2004), "Delopment of the meso- and macroporous structure of coals with rank as analyzed with small-angle neutron scattering and adsorption experiments", *Fuel*, no.4-5, pp. 547-556.

7. Dryndin, V.A., Mikhina, T.V. and Mitrofanov, D.V. (2000), "Experimental researches of geophysical parameters and microstructure of coal of outburst-prone areas of coal layers", Gornyu informatsionno-analyticheskiy byulleten, no. 7, pp. 210-211.

8. Alexeev, A.D. (2010), *Fizika uglya i gornykh protsesov* [Physics of coal and mountain processes], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.

9. Lukinov, V.V., Goncharenko, V.A. and Burchak, A.V. (2000), "Generation of methane from coal and possibility of its estimation the method of electronic paramagnetic resonance", Gornyu informatsionno-analyticheskiy byulleten, no. 8, pp. 85-86.

Об авторах

Притула Дмитрий Александрович, магистр, инженер в отделе проблем технологии подземной разработки угольных месторождений, Институт геотехнической механики им. Н.С Полякова Национальная академия наук Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, igtm16@yandex.ua.

Гаврилов Вячеслав Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник отдела проблем технологии подземной разработки угольных месторождений М, Институт геотехнической механики им. Н.С. Полякова НАН Украины (ИГТМ НАН Украины), Днепропетровск, Украина, gawrilov.slawick@yandex.ru.

Московский Олег Викторович, аспирант, начальник добычного участка ОП «Шахта им. Ф.Э. Дзержинского» ГП «Дзержинскуголь», Дзержинск, Украина, gpdu@inbox.ru.

About the author

Prytula Dmytriy Aleksandrovych, Master of Science, engineer in Department of Underground Coal Mining, M.S. Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Science of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, igtm16@yandex.ua.

Gavrylov Vyacheslav Yvanovych, Candidate of Technical Sciences (Ph.D.), Senior Researcher, Senior Researcher of Department of Undegroud Coal Mining Technology, M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics under the National Academy of Sciences of Ukraine (IGTM NASU), Dnepropetrovsk, Ukraine, gawrilov.slawick@yandex.ru.

Moskovskiy Oleg Viktorovich, Doctoral of Student, head of the mine site SE «Mine name by F.E. Dzerjinskiy» SE«Dzerzhynskvugillia» Dzerzhynsk, Ukraine, gpdu@inbox.ru.

Анотація. Характер метановиділення - від спокійного виділення газу в гірські виробки і свердловини до раптового викиду, а так само, ступінь подрібнення вугілля залежать від мікроструктури вугілля. Структурні відмінності, обумовлюючі газодинамічні властивості пластів, знаходять віддзеркалення в дифузійно-кінетичних параметрах вугілля. В основу методу розрахунку дифузійних параметрів покладений принцип визначення кількості метану в газонасичених зразках вугілля двох фракцій в процесі десорбції метану методом ЯМР. За коефіцієнтом дифузії газу можна судити про схильність пласта до газовіддачі і газо-

динамічним явищам. Приведений розрахунок величин коефіцієнтів дифузії і енергії активації дифузії. Встановлено, що коефіцієнт дифузії зразків вугілля з пластів, схильних до газодинамічних явищ, менше величин 10^{-12} см^2/с. Величини зміряних коефіцієнтів дифузії метану у вугільних пробах пласта m_3 від 10^{-10} до 10^{-11} м^2/с відповідають твердотільної дифузії і підтверджують знаходження метану у вугіллі у вигляді твердого розчину. При пониженні температури для сорбованої води фазовий перехід лежить в інтервалі 243-173 ^0K залежно від марки вугілля, а температура фазового переходу сорбованого метану лежить нижче 103°^0K. Сорбована вода з водо-метановой суміші переходить в кристалоподібний стан при тій же температурі, що і вода в водонасиченому зразку. Сорбований метан залишається в рухомому стані. Потенційний бар'єр, гальмуючий рух молекул, складає для води адсорбованою на вугіллі 6,6 ккал/моль. В результаті проведених експериментальних досліджень в промислових умовах ОП «Шахта ім. Ф.Е. Дзержінського» ДП «Дзержінськвугілля» на пласті $l_7^в$-«Пугачівка» ефективності гідродинамічної дії через підземні свердловини встановлено, що вміст газу у вугільних пробах, відібраних в околиці технологічної свердловини радіусом до 20 м, значно менше, ніж в необробленому масиві, а вміст фізично зв'язаної води у вугіллі в 1,7 разу більше фонового.

Ключові слова: газовиділення, мікроструктура вугілля, дифузійно-кінетичні параметри, твердотільна дифузія, сорбована вода і метан, гідродинамічна дія.

Abstract. Character of laminar methane in mines and boreholes to sudden release, as well as the degree of crushing of coal depends on the microstructure of coal. Structural differences that cause gas-dynamic properties seams, are reflected in the diffusion-kinetic parameters of coal. The basis of the method of calculation of the diffusion parameters of the principle of determining the amount of methane in gassy coal samples of the two factions in the process of desorption of methane by NMR.

According to the diffusion coefficient of gas possible to judge tendency to the formation gas recovery and gas-dynamic phenomena. Results of the calculation of the diffusion coefficient and the activation energy of diffusion. Was established that the diffusion coefficient of the samples of coal from seams that are prone to gas-dynamic phenomena less quantities of 10^{-12} cm^2/s. The values of the measured diffusion coefficient of methane in the coal seam m_3 samples 10^{-10} to 10^{-11} m^2/s correspond solid diffusion and support presence of methane in the coal as a solid solution.

With decreasing temperature, adsorbed water phase transition lies in the interval 243-173 ^0K depending on the grade of coal, and the temperature of the phase transition of adsorbed methane is below 103 ^0K.

Adsorbed water from the water-methane mixture moves into a crystal-state at the same temperature as the water in the humidified sample. Sorbed methane stays in a mobile state. Potential barrier retarding the movement of molecules is water adsorbed on carbon, 6.6 kcal/mol. As a result of experimental researches in industrial conditions-OE "mine named. FE Dzerzhinsky "SE" Dzerzhinskugol" on seam l_7^v-"Pugachevka"efficiency of hydrodynamic impacts through the subterranean borehole established that the gas content of the coal samples taken near borehole process radius of 20 m, much less than in the untreated array and the contents of physically bound water in coal is 1,7 times more of the background.

Keywords: gassing, the microstructure of coal, the diffusion-kinetic parameters, the solid-state diffusion of sorbed water and methane, the hydrodynamic impact.

Статья поступила в редакцию 12.11.2014
Рекомендовано к печати д-ром техн. наук К.К. Софийским

ISSN 1607-4556 (Print), ISSN 2309-6004 (Online) Геотехнічна механіка. 2014. №118

622.013.364.3

Кузьменко А.М., д-р техн. наук, профессор,
Петлёваный М.В., канд. техн. наук, доцент
(Государственное ВУЗ «НГУ»)

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ГОРНОГО МАССИВА И ПОРЯДКА ОТРАБОТКИ КАМЕРНЫХ ЗАПАСОВ НА РАЗУБОЖИВАНИЕ РУДЫ

КузьменкоО.М., д-р техн. наук, професор,
Петльований М.В., канд. техн. наук, доцент
(Державний ВНЗ «НГУ»)

ВПЛИВ СТУКРУРИ ГІРНИЧОГО МАСИВУ ТА ПОРЯДКУ ВІДПРАЦЮВАННЯ КАМЕРНІХ ЗАПАСІВ НА ЗУБОЖІННЯ РУДИ

Kuzmenko A.M., D. Sc. (Tech.), Professor,
Petlyovany M.V., Ph. D. (Tech.), Associate Professor
(State H E I «NMU»)

IMPACT OF ROCK MASSIF STRUCTURE AND SEQUENCE OF CHAMBER RESERVES MINING ON THE ORE DILUTION

Аннотация. Изложены результаты влияния изменяющейся структуры горного массива и порядка отработки камерных запасов на показатели разубоживания руды при этажных системах разработки с твердеющей закладкой. Рассмотрено влияние особенностей контакта рудной залежи с закладочным массивом в зависимости от порядка отработки очистных камер.

Установлено, что разубоживание руды породами лежачего бока очистных камер имеет менее выраженную интенсивность в сравнении с камерами висячего бока. Разубоживание камер первых очередей отработки лежачего бока в два раза меньше, чем камер висячего бока. Однако при увеличении длины камеры в 2 раза разубоживание породами лежачего бока возрастает более чем в 3 раза.

Приведены зависимости величины разубоживания добытой руды от физико-механических характеристик горного массива, находящегося на контакте с очистной камерой.

Ключевые слова. Разубоживание, крепость пород, площадь обнажения пород, породы висячего и лежачего боков, прочность закладки.

Введение. Одним из показателей, характеризующих эффективность камерных систем разработки с твердеющей закладкой, является разубоживание или засорение добытой руды. При разработке крутопадающих рудных залежей со слабыми породами лежачего и висячего бока, а также недостаточно прочный закладочный массив обрушается под сейсмическим воздействием взрывных работ, что приводят к засорению отбитой руды. Величина засорения или разубоживания рудной массы зависит от прочности горного массива, который формируется технологическими параметрами системы разработки. В производственных условиях этот показатель стремятся уменьшить, совершенствуя технологические параметры и порядок отработки рудных запасов по площади рудной залежи.

© А.В. Кузьменко, М.В. Петлеваный, 2014