

Т. А. Василенко, д-р техн. наук, старший научный сотрудник,
заведующая отделом, tvasilenko@mail.ru,
В. Г. Гринёв, д-р техн. наук, профессор, директор,
Э. П. Фельдман, д-р физ.-мат. наук, профессор, главный научный сотрудник,
А. Н. Молчанов, д-р техн. наук, старший научный сотрудник,
заместитель директора,
Н. А. Калугина, канд. техн. наук, старший научный сотрудник,
ученый секретарь,
Т. В. Пичка, аспирант,
Е. А. Пронский, аспирант
(Институт физики горных процессов НАН Украины)

ДИНАМИКА ТРЕЩИНОВАТО-ПОРИСТОЙ СТРУКТУРЫ УГЛЯ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА КИНЕТИКУ МАССОПЕРЕНОСА МЕТАНА В УГЛЕПОРОДНОМ МАССИВЕ

Рассмотрены ударный и фильтрационный этапы развития магистральных трещин в газонасыщенном угольном пласте. Установлены закономерности их развития на каждом из этих этапов. Показано, что энергия активации выхода метана из угля существенным образом зависит от механизма его разрушения, обеспечивающего условия перехода закрытых пор в трещины. Изучена степень влияния высокого давления до 2 ГПа на пористую структуру угля, механизмы десорбции метана из угля.

Ключевые слова: *ископаемый уголь, метан угольных пластов, диффузия, фильтрация, трещины, пористость, давление.*

Введение. Ископаемый уголь – метаморфическая горная порода. В процессе метаморфизма угольное вещество претерпевает изменения под действием внешних сил. Происходят структурные изменения органической массы. В результате этих процессов образуется и изменяется пористая структура угольного вещества, размер и объём пор. В органической массе угля низкой стадии метаморфизма содержится много полярных групп, и угольное вещество имеет разветвленную систему крупных пор, с чем связана его высокая способность к адсорбции влаги. С ростом

метаморфизма содержание полярных групп уменьшается, снижается доля крупных пор, преобладает система микропор, которые играют основную роль при взаимодействиях угля с газами и жидкостями. Под действием внешних сил угольный пласт пронизывается сетью трещин различных размеров. Сорбционные свойства угля определяются, прежде всего, свободным пространством, которое содержится в угольном веществе. Объём пор и трещин и их распределение по размерам в условиях изменения углефикации определяют изменение общего содержания газа

в угле. Система пор и трещин в угольном пласте изменяется под действием горно-геологических условий и техногенных воздействий.

Вопрос о пористости, трещиноватости угля и динамике их изменения имеет важное практическое значение, поскольку касается проблем газоёмкости и газоносности угольных пластов. В трещиновато-пористом массиве за счет его деформации формируются зоны разгрузки. Образуются фильтрационные области с повышенной проницаемостью. Поэтому **целью данного исследования** явилось изучение динамики трещиновато-пористой структуры угля и установление ее влияния на кинетику массопереноса метана в углепородном массиве

В зависимости от стадии метаморфизма угли имеют более или менее развитую трещиновато-пористую структуру, что определяет интенсивность метановыделения из угля. Трещиноватость угля можно характеризовать отношением пустотности γ к удельной площади поверхности S , отграничивающей фильтрационный объем от тела угольного материала. Отношение $z = \gamma/S$ имеет размерность длины, и в случае, когда пустотность формируется одинаковыми трещинами, z представляет собой зияние (раскрытие) трещин. Ранее в работах [1, 2] было показано, что основными составляющими термодинамического потенциала Гиббса угольного пласта являются поверхностная энергия $(\gamma\chi)/S$ (χ – удельная поверхностная энергия угля) и энергия газа $\gamma P \ln(P/P_T)$, заключенного в фильтрационном объеме, P – давление газа, все в расчете на единицу объема пласта, P_T – величина размерности давления, зависящая от температуры газа, она определяется энергией отдельной свободной молекулы метана. Для практически важного интервала температур достаточно учитывать лишь вращательные степени свободы молекулы метана, тогда

$$P_T = T \left(\frac{mT}{2\pi\hbar^2} \right)^{3/2} \left(\frac{T}{T_r} \right)^{3/2}. \quad (1)$$

Здесь m – масса молекулы метана, T – температура пласта, а $T_r = \left(\frac{18}{\pi} \right)^{1/3} \frac{\hbar}{J}$ –

так называемая ротационная температура, J – момент инерции молекулы метана.

Значение величины P_T примерно на пять порядков превышает стандартное пластовое давление метана P , которое варьирует в пределах 1–10 МПа.

Упругая энергия угольного каркаса играет существенную роль только в том случае, когда основные составляющие компенсируют друг друга, т. е. когда $P \ln(P_T/P) \approx \chi/z$.

Если пластовое давление газа P меньше критического P_{cr} , оцениваемого приближенным равенством $P \ln(P_T/P) \approx \chi/z$, то термодинамически невыгодно развитие трещиноватости. Поскольку для обычных значений давления $\ln(P/P_T) \approx 7$ [2], то имеем условие, при выполнении которого трещины не растут $P < P_{cr} \approx \chi/7z$. Этот критерий является обобщением критерия Гриффитса на случай газонасыщенного трещиноватого материала, такого, как угольный пласт. Критерий нераспространения трещины по Гриффитсу состоит в выполнении неравенства

$$\frac{\pi}{2} P \sqrt{L_0} < M_c, \quad (2)$$

где L_0 – длина выделенной трещины, M_c – модуль сцепления угля равен (с точностью до несущественного множителя) квадратному корню из произведения упругого модуля B на удельную эффективную поверхностную энергию угля χ . Для представленных значений, входящих в неравенство (2) параметров $P_0 = 10^6$ Па, $B = 4 \cdot 10^9$ Па, $L_0 = 10^{-2}$ м, $\chi = 10$ Па·м, получаем, что неравенство (2) выполняется. Но при небольшом повышении пластового давления или длины магистральной трещины знак этого неравенства меняется на противоположный. Однако немедленного роста трещины и разрушения материала может и не произойти, поскольку речь идет о газонаполненной трещине. В этом случае нагрузка на её берега уменьшается по мере её роста, процесс разрушения

происходит иначе – чаще всего в два этапа, которые можно назвать ударным и фильтрационным.

Ударный рост можно трактовать как внезапный скачок длины трещины, реализующийся при выполнении неравенства [5]

$$\frac{4M_c^2}{\pi^2 B P_0 z_0} < \frac{(\pi/2)(P_0 - \sigma_{\perp})\sqrt{L_0} - M_c}{M_0}, \quad (3)$$

где P_0 – давление газа в нетронутом выемочными работами пласте, σ_{\perp} – поперечная компонента напряжений в пласте; $B \equiv G/\pi(1-\nu)$; G – модуль сдвига угля, ν – коэффициент Пуассона, $M_0 \equiv \pi/2 \cdot P_0 \sqrt{L_0}$. Из неравенства (3) видно, что условиями внезапного разрушения являются достаточно малая трещиностойкость M_c (т. е. малая удельная поверхностная энергия), достаточно большие значения трещин и высокое исходное пластовое давление. При использовании критерия (3) нужно учитывать, что давление метана в отрабатываемом угольном пласте (параметр P_0) зависит от координат и времени, поскольку газ выходит через обнаженную поверхность в выработанное пространство. А параметр σ_{\perp} определяется расстоянием от обнаженной поверхности до плоскости залегания трещины. При проведении выемочных работ это расстояние зависит от времени, поэтому выполнение или невыполнение критерия (3) зависит также и от скорости продвижения забоя.

Дальнейшее развитие трещин после их первичного разбухания или выстреливания происходит за счет фильтрации газа в полость трещины (фильтрационный этап). В обоих этих случаях стартует процесс натекания газа из окружающего объема в полость трещины – фильтрационный этап развития трещины [6]. В первом из этих случаев на начальном (ударном) этапе длина трещины остается неизменной, во втором – длина увеличивается.

Рассмотрим вопрос о натекании газа из фильтрационного объема в трещину. Если длина трещины велика по сравнению с известными диффузионными дли-

нами, можно считать плотность потока газа одинаковой вдоль поверхности трещины. Скорость натекания определяется формулой

$$\frac{dN(t)}{dt} = \gamma 2LD_f (\nabla \rho)_s = \gamma \frac{2LD_f}{T} (\nabla P)_s, \quad (4)$$

где $N(t)$ – количество молекул метана внутри трещины, $(\nabla \rho)_s$, $(\nabla P)_s$ – градиенты плотности и давления газа на поверхности трещины, D_f – коэффициент массопереноса (фильтрации или диффузии), ρ – плотность газа, T – абсолютная температура в энергетических единицах. Из формулы (4) путем использования известного из математической литературы “импеданного” соотношения для плотности газа приходим к уравнению

$$\left[1 + \frac{P_0}{B} \frac{L_0}{z_0} (p(t) + p_1 - S_{\perp}) \right] = \int_0^t \frac{p_e - p(\tau)}{\sqrt{t - \tau}} d\tau, \quad (5)$$

где $p(t)$ – давление газа в полости трещины, p_1 – давление в трещине после первичного разбухания, p_e – пластовое давление, S_{\perp} – поперечная компонента напряжений. Все величины размерности давления нормированы на P_0 . Характерное время заполнения

трещины газом $t_* = \frac{\pi z_0^2}{4\gamma^2 D_f}$. Фильтра-

ционный этап длится десятки минут и может закончиться разрушением материала. Аналогичным образом описывается фильтрационный этап развития трещины после ее “выстреливания”. В этом случае давление газа в полости трещины снижается до нуля, а длина трещины растет неограниченно. Оценка времени роста трещины (фактически – времени разрушения материала) в размерных единицах следующая:

$$t_f \sim \frac{4M_c^4}{\pi^3 \gamma^2 D_f B^2 P_0^2}. \quad (6)$$

Из формулы (4) видно, что время “фильтрационного разрушения” угля очень существенно сокращается с уменьшением поверхностной энергии, с ростом пластового давления и пористости.

Таким образом, показано, что развитие трещин, плоскость залегания которых параллельна обнаженной поверхности забоя, происходит после разгрузки пласта в два этапа. На первом из них, который можно назвать “ударным”, происходит внезапный рост зияния трещин, а в ряде случаев – и длины. После этого начинается процесс фильтрации газа в полость трещины. Заполнение газом полости трещины сопровождается либо ростом давления газа и разбуханием трещины, либо ростом трещины в длину, уменьшением давления газа с последующим разрушением материала. Выписаны соответствующие критерии (роста либо падения давления газа в полости трещины) и оценены показатели времени фильтрации.

Как реализуется влияние на кинетику десорбции метана в угле эволюции трещиновато-пористой структуры угля при нагружении, показано в ходе ряда экспериментов. Были исследованы процессы десорбции метана из угольного вещества (марка К) в условиях, моделирующих различные напряженно-деформационные состояния горного массива, и определены коэффициенты диффузии и энергия активации диффузионного процесса [3]. В основу метода расчета диффузионных параметров положен принцип определения количества метана в газонасыщенных образцах угля двух фракций в процессе десорбции метана. Измерения осуществляли на угольных образцах, подвергшихся деформированию на установке трехосного нагружения по трем различным схемам. Первая схема моделировала всестороннее сжатие, параметры нагружения: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = k\gamma H$, $k = 2 \div 5$. Разрушение образца при этом не происходило. Вторая схема моделировала разрушение сдвигом, $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$, где $\sigma_1 = k\gamma H$, $\sigma_2 = \sigma_1/2$, $\sigma_3 = \sigma_{\text{пр}}$. Третья схема соответствовала разрушению с послынным отрывом, $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$, $\sigma_1 = k\gamma H$, $\sigma_3 = \gamma H$ и последующий сброс σ_3 до нуля.

Из угольных проб, взятых с исследуемого участка пласта, отбирались на-

вески угля массой 180–200 г, которые измельчались с формированием двух фракций с размером частиц $R_1 = 0,25\text{--}0,5$ и $R_2 = 2,0\text{--}2,5$ мм и просеивались. Угольные навески массой 40–50 г отбирались с сит размером ячеек 0,25 и 2,0 мм. После этого производилось квартование каждой фракции, затем из них отбирались фракции по 20–25 г угля. Отобранные фракции массой по 6 г засыпались в шесть емкостей для насыщения метаном в сорбционной установке. Угольные пробы вакуумировались в течение 3 часов и насыщались метаном под давлением 10 МПа в течение 48 часов.

После насыщения образцов метаном и их извлечения определяли потерю массы каждой фракции угля. По результатам десорбции метана рассчитывали коэффициенты диффузии для каждой схемы нагружения и рассчитывали энергию активации выхода метана из угля (рис. 1, табл. 1). Коэффициент диффузии метана из угля рассчитывается по формуле

$$D = \frac{R_2^2 Q_1 - R_1^2 Q_2}{6t \cdot 2n \frac{Q_1}{Q_2}}, \quad (7)$$

где R_1, R_2 – размер фракций угля, м; t – время десорбции, сек; Q_1, Q_2 – относительное изменение количества метана за время десорбции, соответствующее каждой фракции $\left(Q_1, Q_2 = \frac{W_{\text{ср.исх.}} - W_{\text{ср.}}(t)}{W_{\text{ср.исх.}}} \right)$.

Измерения проводились при температуре 18–25 °С и нормальном давлении. Коэффициент диффузии с учетом температуры угольного массива рассчитывается по формуле Аррениуса или в другом ее представлении с помощью универсальной газовой постоянной R

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{E}{RT}\right), \quad (8)$$

где D_0 – параметр диффузии, м²/сек; E – энергия активации диффузии метана из угля; T – температура угольного массива, К.

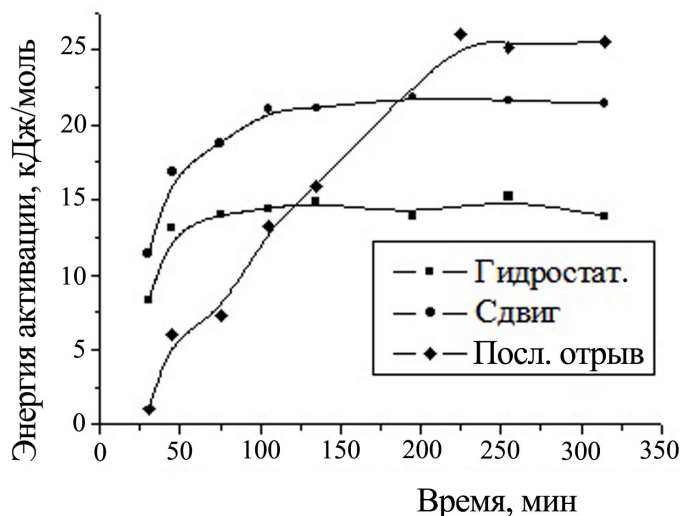


Рис. 1. Изменение энергии активации выхода метана во времени в зависимости от схемы деформирования угля

Расчет энергии активации диффузии метана из угля производится по формуле

$$E = 2,303R \frac{T_1 T_2}{T_1 - T_2} \lg \frac{D_1}{D_2}, \quad (9)$$

где T_1 , T_2 – температура, при которой определяются D_1 и D_2 ($T_1=291-298$ °К; $T_2=313-318$ °К); R – универсальная газовая постоянная, Дж/моль град.

Значения для начального этапа десорбции существенно отличаются от данных для конечного этапа в связи с присутствием в угле как закрытых, так и открытых пор. На начальном этапе дегазации фильтрация метана из открытых пор значительна и вносит вклад в определяемые значения диффузионных параметров, существенно повышая значения коэффициента диффузии и понижая значения энергии активации, что связано с разрушением пор в образцах при нагружении.

Вскрытие закрытых пор ведет к изменению эффективного коэффициента диффузии. При образовании открытых пор он увеличивается, если же разветвленной системы трещин не образуется, он может и уменьшиться. С энергией активации аналогично: поскольку при нагружении разрушаются в первую очередь поры большего размера, увеличивая вклад малых пор в общую пористость, растут эффективные значения величин энергии активации. В угольных фракциях после гидростатического нагружения энергия активации в интервале времени 25–30 мин возрастает в среднем с 11 до 14 кДж/моль и определяется фактически исходным балансом открытых и закрытых пор. Для угольных фракций после их разрушения сдвигом отмечен рост энергии активации в среднем в 1,4 раза, что свидетельствует о разрушении части закрытых пор. Наибольшие

Таблица 1. Энергия активации диффузии метана из угля разных марок

Марка угля	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	А
Энергия активации E , кДж/моль	45,7	41,1	31,9	25,9	29,3	32,6	50,2

изменения энергии активации наблюдаются при разрушении угольного образца отрывом, что связано с увеличением доли открытой пористости за счет превращения части пор в трещины. Таким образом, энергия активации выхода метана из угля существенно зависит от механизма разрушения угля, обеспечивающего условие перехода закрытых пор в трещины.

С увеличением давления в процесс образования новых трещин вовлекаются все более мелкие закрытые поры. При этом протекают два противоположно направленных процесса. С одной стороны, число трещин нарастает, а среднее расстояние между ними соответственно падает. Это должно способствовать связыванию ими пор в единый кластер. С другой стороны, поскольку в трещины в первую очередь превращаются наиболее крупные поры, средний размер остающихся пор снижается. В течение первых 70 мин энергия активации минимальна, поскольку она определяется диффузией метана из сформировавшейся системы трещин. Далее энергия активации возрастает и становится выше, чем для угольных фракций, полученных после разрушения сдвигом, что свидетельствует об уменьшении среднего размера оставшихся пор.

В дальнейшем было исследовано, как ведет себя процесс десорбции под воздействием еще большего давления (до 2 ГПа) на угольный образец и как влияет высокое давление на пористую структуру угля. Исследования пористости выполнялись по пикнометрической методике по ГОСТ 2160-92, методике сорбции газов [7] и методу разрушения ископаемого угля высоким давлением в камере-матрице [4]. Динамика газовой выделения из исходно-

го и разрушенного высоким давлением угля исследовалась при помощи метода десорбции метана в вакуумированный сосуд известного объема. Исходя из предположения, что основной объем газа содержится в угольном пласте в свободном сжатом состоянии в порах угольного вещества различного размера, поставим задачу избавиться от всех типов пористости путем компрессии образца, и по величине уплотнения определим ликвидированный объем, который может быть занят газом.

В работе исследовались образцы среднеметаморфизированного ископаемого угля шахт им. Засядько и им. Скочинского. Качественные характеристики углей приведены в табл. 2.

Уголь шахты им. Засядько марки Ж, пласт l_1 . Пласт l_1 сложного строения, хрупкий, с включениями пирита, опасен по газу, суфлярным выделениям метана, взрывчатости угольной пыли, внезапным выбросам угля и газа. Природная газоносность пласта – 20–25 м³/т с. б. м.

Уголь шахты им. Скочинского марки К, пласт h'_6 . Пласт h'_6 сложного строения, особо опасен по внезапным выбросам угля и газа. Природная газоносность пласта – 20–30 м³/т с. б. м.

Эксперименты по пикнометрии дали следующие значения кажущейся и действительной плотности образцов: 1) для выбросоопасного угля марки Ж кажущаяся плотность составила 1,31 г/см³; действительная плотность – 1,37 г/см³; открытая пористость 4,6 %; 2) для особовыбросоопасного угля марки Ж кажущаяся плотность составила 1,26 г/см³; действительная плотность – 1,30 г/см³; открытая пористость 4 %. Для выбросоопасного угля суммарная пористость, определяемая методом разрушения ископаемо-

Таблица 2. Характеристики исследуемых углей

Шахты	C ^a	H ^a	C ^{daf}	H ^{daf}	A	A ^d	W, %	A _{зола}	V ^r _{daf}
Шх. им. Засядько	2,14	1,66	86,27	5,44	86,06	5,55	1,17	1,18	19
Шх. им. Скочинского	2,15	0,83	84,18	5,55	86,00	5,67	0,73	0,74	20

го угля высоким давлением, составляет 26 %, значение плотности при максимальном давлении достигает $1,65 \text{ г/см}^3$. Для особовыбросоопасного угля суммарная пористость, определяемая этим методом, составляет 30,1 %.

Эксперимент по определению закрытой пористости изучаемых образцов дал следующие результаты. Для выбросоопасного угля марки Ж закрытая пористость – 23,5 %. Для особовыбросоопасного угля марки Ж закрытая пористость – 32 %. Сравнивая значения общей пористости, полученные различными методами, нетрудно заметить, что эти значения близки и гораздо выше, получаемых стандартными методами.

В исходном образце кинетика десорбции (кривая 1 рис. 2) описывается набором экспонент в виду наличия не только диффузии, но и фильтрации газа транспортными каналами (открытыми порами, трещинами) [8]. Для образца угля после его обжаривания характер десорбции (кривая 2 рис. 2) изменяется, существенно уменьшается его сорбционная спо-

собность, поскольку вследствие экстремальной деформации угля уменьшается его закрытая пористость. Кинетика десорбции газа после обжаривания угля также изменилась: она удовлетворительно описывается одной экспоненциальной зависимостью. Это указывает на пренебрежимо малый вклад эффекта фильтрации газа вследствие разрушения трещиновато-пористой структуры образца. Наряду с закрытой пористостью происходит также уменьшение пористости открытой, а образовавшиеся фильтрационные каналы имеют больший диаметр. В этом случае дегазация происходит путем диффузии молекул метана из угля или его десорбции с поверхности гранул, а сечение фильтрационных каналов при этом оказывается настолько большим, что наблюдение эффекта фильтрации становится невозможным. Таким образом, значительно уменьшив пористость и естественную трещиноватость, после обжаривания и последующей разгрузки образца угля получен материал с другой, наведенной, проницаемостью.

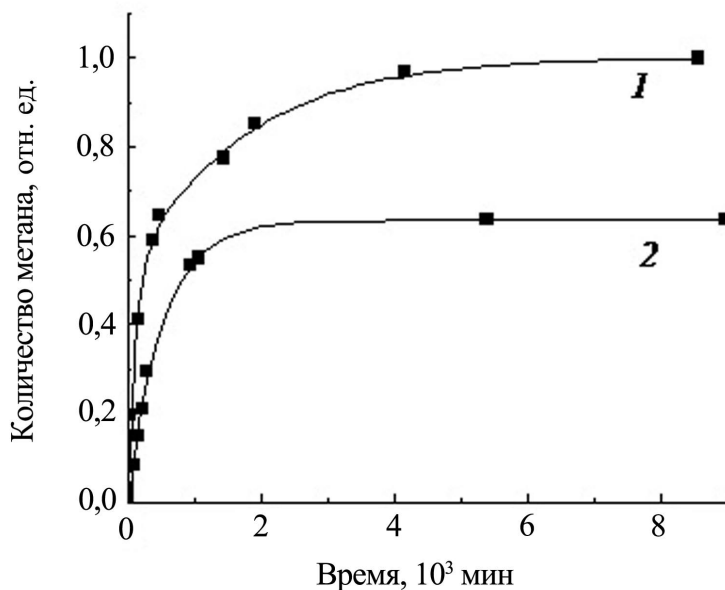


Рис. 2. Кинетика десорбции метана из угля

1 – исходный образец; 2 – образец после обработки высоким давлением

Выводы

Изучение физических процессов, связанных с давлением и фильтрацией газа в массиве горных пород, представляет теоретический и практический интерес. Выполненные нами исследования позволяют определить степень влияния горного давления и деформаций угольного пласта на модификацию его трещиновато-пористой структуры и, как следствие, на изменение сорбционных свойств. Полученные результаты могут быть использованы при разработке методических рекомендаций для безаварийного ведения горных работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Alexeev A. D. Non-equilibrium thermodynamics and outburst hazard of a coal bed// A. D. Alexeev, E. P. Feldman/Український фізичний журнал. – 2012. – Т. 57. – № 6. – С. 619–622.
2. Алексеев А. Д. Равновесное распределение газов в угольных пластах/А. Д. Алексеев, Э. П. Фельдман//Письма в ЖТФ. – 2008. – Т. 34. – Вып. 14. – С. 48–53.
3. Алексеев А. Д. Обоснование методики определения количества и фазового состояния метана в углях методом ЯМР/А. Д. Алексеев, Г. П. Стариков, Т. А. Василенко и др.//Вісті Донецького гірничого інституту. – Донецьк: ДНТУ, 2005. – № 1. – С. 174–177.
4. Слюсарев В. В. Определение пористости ископаемого угля с учетом объема закрытых пор/В. В. Слюсарев, Т. А. Василенко//Физико-технические проблемы горного производства. Сб. научных трудов. – Донецк: ООО “Апекс”, 2002. – № 5. – С. 79–86.
5. Фельдман Э. П. Физическая кинетика системы угольный пласт – метан: массоперенос, предвыбросные явления/Э. П. Фельдман, Т. А. Василенко, Н. А. Калугина//ФТПРПИ. – 2014. – № 3. – С. 46–65.
6. Шевелев Г. А. Динамика выбросов угля, породы и газа. – Киев: Наукова думка, 1989. – 139 с.
7. Alexeev A. D. Alternation of methane pressure in closed pores of fossil coals/A. D. Alexeev, E. P. Feldman, T. A. Vasilenko//Fuel. – 2000. – Vol. 79. – № 8. – P. 939–943.
8. Alexeev A. D. Closed porosity in fossil coals/A. D. Alexeev, T. A. Vasilenko, E. V. Ulyanova//Fuel. – 1999. – V. 78. – № 6. – P. 635–638.

REFERENCES

1. Alexeev A. D., Feldman E. P. Non-equilibrium thermodynamics and outburst hazard of a coal bed//Ukrainian Journal of Physics. – 2012. – Vol. 57 – № 6. – P. 619–622.
2. Alexeev A. D., Feldman E. P. The equilibrium distribution of gas in coal//Technical Physics Letters. – 2008. – Vol. 34. – № 14. –P. 48–53. (In Russian).
3. Alexeev A. D., Starikov G. P., Vasilenko T. A. et al. Substantiation of the method of determining the amount and phase state of methane in coals by NMR//Visti Donetskoho hirnychoho instytutu. – Donetsk: DNTU, 2005. – № 1. – P. 174–177. (In Russian).
4. Sljusarev V. V., Vasilenko T. A. Porosimetry fossil coal taking into account the volume of the closed pores//Physical-technical problems of mining. Collection of scientific works. – Doneck: ООО “Apeks”, 2002. – № 5. – P. 79–86. (In Russian).
5. Feldman E. P., Vasilenko T. A., Kalugina N. A. Physical kinetics system coal bed – methane: mass transfer, pre-outburst phenomenon//Journal of Mining Science. – 2014. – № 3. – P. 46–65. (In Russian).
6. Shevelev G. A. Dynamics of extrass of coal, rock and gas. – Kiev: Naukova dumka, 1989. – 139 p. (In Russian).
7. Alexeev A. D., Feldman E. P., Vasilenko T. A. Alternation of methane pressure in closed pores of fossil coals//Fuel. – 2000. – Vol. 79, № 8. – P. 939–943.
8. Alexeev A. D., Vasilenko T. A., Ulyanova E. V. Closed porosity in fossil coals//Fuel. – 1999. – V. 78. – № 6. – P. 635–638.

Рукопис отримано 30.11.2015.

Т. А. Василенко, В. Г. Гриньов, Е. П. Фельдман, О. М. Молчанов, Н. О. Калугіна, Т. В. Пічка, Є. О. Пронський (Інститут фізики гірничих процесів НАН України)

ДИНАМІКА ТРІЩИНУВАТО-ПОРИСТОЇ СТРУКТУРИ ВУГІЛЛЯ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА КІНЕТИКУ МАСОПЕРЕНОСУ МЕТАНУ У ВУГЛЕПОРОДНОМУ МАСИВІ

Розглянуто ударний і фільтраційний етапи розвитку магістральних тріщин у газонасиченому вугільному пласті. Визначено закономірності їх розвитку на кожному із цих етапів. Показано, що енергія активації виходу метану з вугілля істотним чином залежить від механізму його руйнування, забезпечує умови переходу закритих пор у тріщини. Вивчено ступінь впливу високого тиску до 2 ГПа на пористу структуру вугілля, механізми десорбції метану з вугілля.

Ключові слова: *випонне вугілля, метан вугільних пластів, дифузія, фільтрація, тріщини, пористість, тиск.*

T. A. Vasilenko, tvasilenko@mail.ru,

V. G. Grinev, E. P. Feldman, A. N. Molchanov, N. A. Kalugina, T. V. Pichka, E. A. Pronsky
(Institute for Physics of Mining Processes of the NAS of Ukraine)

DYNAMICS OF FRACTURED-POROUS STRUCTURE OF COAL AND ITS INFLUENCE ON THE MASS TRANSFER KINETICS OF METHANE IN COAL-ROCK MASSIF

The impact and filtration stages of development of main cracks in gas-saturated coal seams are considered. It is shown that the development of cracks, the occurrence of which plane parallel to an exposed surface of the face, occurs after unloading of the seam in two stages. The first of them, named "impact", there is a sudden increase in a gas arrangement of cracks, and in some cases the length also. Then the process of gas filtration begins in the cavity of the crack. The filling of gas into cracks cavities accompanied by any increase in the gas pressure and the swelling cracked, or the crack growth length and the decreasing in gas pressure with the subsequent destruction of the material. The relevant criteria (increasing or falling of the gas pressure in the crack cavity) was recorded and the times of filtration was estimated. The regularities of their development on each of the stages found.

It is shown that the activation energy of methane release from coal and the gas-dynamic phenomena depend essentially on the mechanism of coal destruction, which provides conditions for the transition of closed pores to cracks. These assumptions allow to predicting the geomechanical conditions of the coal massif by simulation of different types of stress-strain state of the coal massif.

The process of desorption of gas from coal sample under the influence of pressure up to 2 GPa and the impact of high pressure on the porous structure of coal were investigated. It is shown that nature of desorption varies after coal sample compression, significantly reduced its sorption capacity as closed porosity decreases. Open porosity decreases also, and the formed filtration channels have a larger diameter. In this case, the degassing occurs by diffusion of methane molecules from the coal and by desorption from the surface of the granules. The cross section of filter channels, thus, is so large that observation of the effect of filtering becomes impossible.

Keywords: *fossil coal, coal bed methane, diffusion, filtration, cracks, porosity, pressure.*