

УДК 622.411.332:533.17

Г.П. Стариков, д-р техн. наук,
В.В. Завражин, канд. техн. наук,
Я.В. Шажко, мл. научн. сотр.,
(ИФГП НАН Украины)
Ш.В. Мамлеев, магистр
(ОП «Шахтерская-Глубокая»
ГП «Шахтерскантрацит»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГАЗОНОСНОСТИ И ДАВЛЕНИЯ МЕТАНА В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

Г.П. Старіков, д-р техн. наук,
В.В. Завражин, канд. техн. наук,
Я.В. Шажко, мл. научн. сотр.
(ІФГП НАН України)
Ш.В. Мамлеєв, магістр
(ОП «Шахтарська-Глибока»
ДП «Шахтарськантрацит»)

ВИЗНАЧЕННЯ ГАЗОНОСНОСТІ І ТИСКУ МЕТАНА У ВУГЛЬНИХ ПЛАСТАХ

G.P. Starikov, D. Sc. (Tech.),
V.V. Zavrzhin, Ph.D. (Tech.),
Ya. V. Shazhko, Junieur Reseacher
(IPMP NAS of Ukraine)
Sh. V. Mamleyev, Master of Science
(AP «Shakhtersraya-Glubokaya
SP «Shakhterskantratsit»)

DETERMINATION OF GAS CONTENT AND METHANE PRESSURE IN THE COAL SEAMS

Аннотация. Проведена количественная оценка содержания свободного и адсорбированного метана в открытых порах и микроблоках каменного угля, насыщенного метаном. Для установления закономерностей степени изменения плотности потока газа из трещиновато-пористой структуры угля была обоснована физическая модель угольного вещества, включающая трещины, соединенные с открытыми порами (фильтрационный объем), и закрытые поры. Установлено, что количество метана в транспортных каналах (порах) составляет более трети от общего содержания в угле. Обоснован метод и средства оценки газоносности и давления метана в угле, основанный на особенностях газовой эмиссии метана. Установлен механизм десорбции метана из угля, учитывающий особенности трещиновато-пористой структуры угля и фазового состояния метана в нем. Обоснованы технические параметры, разработан и испытан шахтный измеритель газоносности и давления метана в угольном массиве.

Ключевые слова: свободный и адсорбированный метан, газоносность, давление метана.

© Г.П.Стариков, В.В. Завражин, Я.В. Шажко, Ш.В. Мамлеев, 2013

Вопрос о залежах метана в угольных пластах действующих и законсервированных шахт до настоящего времени остается дискуссионным. Это, в первую очередь, связано с отсутствием методологии оценки количества метана с учетом его фазового состояния.

Существующие представления позволяют утверждать о наличии в угле трех фазовых состояний метана: свободный газ в порах и трещинах; в виде молекул, адсорбированных на поверхностях угля и в виде абсорбированных молекул в блоках угля с образованием твердого раствора метана в угле. При этом используются две основные модели описания системы «уголь-метан». Согласно одной из них [1], весь метан находится в свободном и адсорбированном состояниях, а насыщенность угля газом обеспечивается развитой сетью мелких открытых пор со значительной дисперсией их сечения. Недостатком модели являются трудности в объяснении продолжительности процесса десорбции метана из угля. Согласно указанным представлениям и теоретическим оценкам, коэффициент диффузии газа в самых мелких порах угля должен превышать значения $10^{-6} \div 10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$, в то время как, согласно эксперименту, этот коэффициент значительно меньше – $10^{-14} \div 10^{-16} \text{ м}^2/\text{с}$ и характерен для диффузии в твердых телах.

Другая модель [2,3] является следствием развития представлений о блоковом строении угля. Экспериментальной основой для неё послужил сравнительный анализ кинетики выхода метана из угольных образцов, представляющих собой совокупность мельчайших образований – микроблоков, свободный объём между которыми составляет объём открытых пор и трещин. Указанные поры сообщаются с внешней поверхностью угля и служат путями эвакуации газа после его диффузии из микроблоков. В рассматриваемой модели десорбции микроблоки представляют собой области угольного образца, не имеющие открытых пор и трещин. Размер этих областей предполагается малым по сравнению с размером гранулы угля. Блоковая модель угля выгодно отличается от других моделей, так как в её рамках легко объяснить низкое значение коэффициента диффузии метана в углях, а высокую газоносность связать с наличием закрытых пор.

При этом предполагается, что в рамках блочной модели угля общая задача о распределении метана может быть сведена к более узкой, а именно, - определению количества метана в микроблоках угля, в свободном состоянии в открытых трещинах и порах, в адсорбированном состоянии на поверхностях угля.

При этом следует учитывать [4], что при наличии закрытых пор в микроблоках, содержащийся в них метан, находится как в свободном, так и в адсорбированном состоянии, а соотношение фаз будет таким же, как и в открытых порах.

Применения вышеуказанных моделей для разработки экспресс-методов диагностики параметров массопереноса метана в угле, в том числе давления и его количества, приводят к необходимости обосновать механизм процесса десорбции, т.е. интенсивности фильтрационных и диффузионных потоков из трещиновато-пористого объема угля. Поскольку продолжительность фильтрационно-

го потока составляет десятки секунд, а потеря свободной фазы метана в угле может достигать до 30% его газоносности, в зависимости от его фракционного состава и объема закрытых и открытых пор, требующих постоянного контроля. Учет этих потерь возможна при использовании метода интегральной десорбиметрии, основанного на фиксировании в шахтных условиях кинетики процесса истечения метана при балансе фильтрационного и диффузионного потоков из микропор известного фракционного состава угля в заданный объем накопительной емкости, и сравнения этих параметров с данными десорбционного паспорта пласта, в котором фиксируется интенсивность фильтрационного потока свободной фазы метана из трещин и пор и его содержание под пластовым давлением. Таким образом, анализ существующих представлений по кинетике газовыделения газа из порового объема угля в накопительные емкости свидетельствует, что до настоящего времени неустановленны закономерности между потоками десорбирующегося метана из угля и величинами исходного равновесного давления в пласте. Отсутствие этих зависимостей не позволило обосновать метод определения давления и количества метана в пластах и средства их измерения.

Для установления закономерностей степени изменения плотности потока газа из трещиновато-пористой структуры угля была обоснована физическая модель угольного вещества [5], включающая трещины соединенные с открытыми порами (фильтрационный объем) и закрытые поры. Вся трещиновато-пористая система заполнена газом, кроме этого часть метана растворена в блоках угольного вещества, ненарушенными открытыми порами. Десорбция газа из такой модели начинается при нарушении термодинамического равновесия, связанного с разгрузкой от горного давления. При этом газ из фильтрационного объема за счет разности давления сорбционного равновесия и внешнего давления устремляется в окружающую среду. После десорбции части газа из фильтрационного объема и выравнивания пластового и внешнего (атмосферного) давления начинается процесс истечения газа из закрытых пор и блоков по механизму диффузии. Процессы фильтрации газа и взаимосвязанные между собой с процессами диффузии газа из блоков сферической формы радиусом R описываются уравнением Дарси. Решения уравнения такого класса дополненными соответствующими граничными условиями позволяет оценить плотность потока метана ($j(t)$) из фракций угля, десорбирующегося к моменту t через единицу площади обнаженной поверхности. В результате решение установлено (в размерности времени):

$$j(t) = \begin{cases} \frac{P_{nl}}{P_a} \sqrt{\frac{\gamma_o D_f}{\pi t}}, & \text{если } t \ll \frac{R^2}{D_f} \\ \frac{P_{nl}}{P_a} \sqrt{\frac{\gamma_e D_e}{\pi t}}, & \text{если } t \ll \frac{R^2}{D_e} \end{cases} \quad (1)$$

$$\quad (2)$$

где P_{nl} , P_a – давление газа в угле и окружающей среде соответственно; D_f - коэффициент фильтрации; D_e - коэффициент эффективной диффузии; γ_o - γ_e -

эффективная пористость с учетом объема закрытых пор γ и растворимости газа в объеме открытых пор ν ; $\left(\gamma_e = \gamma_o + \nu(1-\gamma_o) \left(1 - \gamma + \frac{\gamma}{\nu} \right) \right)$.

Из анализа формул (1) и (2) следует, что первоначально десорбируется газ, находящийся в трещинах и открытых порах по механизму фильтрации, а только потом на значительно больших временах происходит диффузия основного объема газа, аккумулированного в закрытых порах и растворенного в блоках. При стандартных оценках размера блоков $R \sim 10^{-6}$ м и коэффициенте фильтрации $2 \cdot 10^{-7}$ м²/с, фильтрационное время $t_f = \frac{10^{-10}}{10^{-7}} \sim 10^{-3}$ с, при значении $D_e = 10^{-14}$ м²/с диффузионное время $t_d = \frac{10^{-10}}{10^{-14}} \sim 10^4$ с ≈ 166 мин.

В целом проведенная оценка процесса десорбции газа из угля позволила впервые установить, что кинетика фильтрационных и диффузионных потоков десорбирующегося газа из порового объекта прямопропорциональна давлению газа объему открытых и закрытых пор и величине коэффициента фильтрации и диффузии и обратно пропорциональна времени процесса десорбции. Полученная закономерность дала возможность обосновать минимальное время необходимое для накопления газа в замкнутом объеме при определении давления и количества метана в угольном пласте с использованием интегральной десорбметрии.

Для исследований процесса десорбции газа из угольных фракций в сосуд известного объема использовали образцы, приготовленные из одного куска угля. После его дробления и отсева на ситах отбирали гранулы размером 1,0-1,5 мм и формировали навески массой 20 г. Далее образцы угля высушивали, помещали в контейнеры высокого давления и насыщали сжатым метаном при давлении до 10 МПа в течение 14 сут. Перед регистрацией десорбции производили сброс сжатого газа из свободного объема контейнера в сосуд большой емкости. После этой операции, занимающей не более 5 с, выход метана продолжался, однако скорость его выделения становилась на несколько порядков меньше. Непосредственно после замедления эмиссии метана его поток направляли в другой вакуумированный накопительный сосуд известного объема, после чего производили регистрацию хода десорбции на ее начальном участке – в течение первых 120 мин.

Предлагаемая методика позволяет измерять количество свободного метана ($Q_{св}$) в трещинах и открытых порах угля, количество адсорбированного метана в них ($Q_{адс}$) и количество метана в микроблоках угля ($Q_{мб}$). Определяют газоносность образцов угля для каждого равновесного давления как сумму всего десорбированного метана: $\Sigma Q_e = Q_{св} + Q_{адс} + Q_{мб}$. Для условий пласта l_1 – гор. 1305 м шахты им. А.Ф. Засядько при естественной влажности $W \approx 1,0\%$ $\Sigma Q_e = 1,8 + 4,8 + 11,4 = 18$ м³/т, фактическая газоносность пласта l_1 составляет 21-25 м³/т.с.б.м.

В целом представленный методический прием показывает, что весь процесс

десорбции можно условно разделить на две фазы: первая – это фаза интенсивного выделения газа, которая предшествует установлению баланса потоков диффузии и фильтрации, и вторая – завершающая фаза, когда источником выделяемого углем газа есть только его диффузия из закрытых пор в открытые поры. В ходе первой фазы давление метана в открытых порах угля быстро уменьшается и достигает некоторого минимального значения, при котором фильтрационный поток газа в открытых порах становится равным потоку газа, выделяемого путем диффузии из микроблоков угля. Как показывают расчеты, в случае мелких гранул угля первая фаза настолько скоротечна, что из-за трудностей технического характера даже в лабораторных опытах ею часто приходится пренебрегать. Таким образом, десорбция газа, наблюдаемая в опытах с мелкими гранулами угля (размером 0,5-1,0 мм и меньше), практически, постоянно проходит в условиях баланса диффузионного и фильтрационного потоков газа. Поэтому для обоснования метода определения давления и количества метана в угле необходимо установить: какое количество метана остается в порах после завершения первой фазы выхода метана, то есть к моменту регистрации десорбции.

Для этого изучали кинетику стационарного потока газа проходящего через уголь от градиента давления газа. Этот же прием используется далее для определения давления метана в транспортных каналах при его десорбции из угля. В качестве газа в наших опытах использовался воздух и метан. Образец угля шахты им. А.Ф. Засядько свободного от влаги имел форму цилиндра диаметром 13 мм и высотой $l_{\text{цил}}=12$ мм. Регистрация количества и скорости выделения газа производилась по изменению давления в накопительном сосуде, объём которого составлял $V_{\text{НС}}^{\text{стат}} = 340 \text{ см}^3$ и выбирался из условия минимального влияния накапливаемого в нем газа на результат опыта. Избыточное относительно вакуума давление газа определялось с помощью ртутно-масляных манометров.

В табл. 1 представлены результаты исследований квазистационарного движения молекул метана через образец угля шахты им. А.Ф. Засядько пласта l_1 .

Таблица 1. Данные эксперимента по изучению влияния перепада давления метана по образцу угля на скорость изменения давления газа в накопительном сосуде

P_1	P_2	$\Delta(P^2)$	$\Delta P_{\text{НС}}$	Δt	$(\overline{\Delta P}/\Delta t)$
125	15	15973	59	5400	0.011
161	45	28125	93	3900	0.024
245	30	60937	70	1700	0.041
325	0	105469	114	1500	0.076
453	0	205460	162	1170	0.139
577	0	333594	199	870	0.229

Использованы обозначения: Δt – продолжительность опыта в секундах; P_1 и P_2 – давление газа на входе и выходе образца в мм. ртутного столба; $\Delta(P^2)$ – раз-

ность квадратов этих давлений; ΔP_{HC} – изменение давления газа в накопительном сосуде за время опыта в мм. масляного столба; $(\overline{\Delta P}/\Delta t)$ – скорость изменения этого давления – (мм. масл. ст. /сек).

Эти данные дополнены результатами изучения переноса молекул воздуха и представлены также графически на рисунке 1.

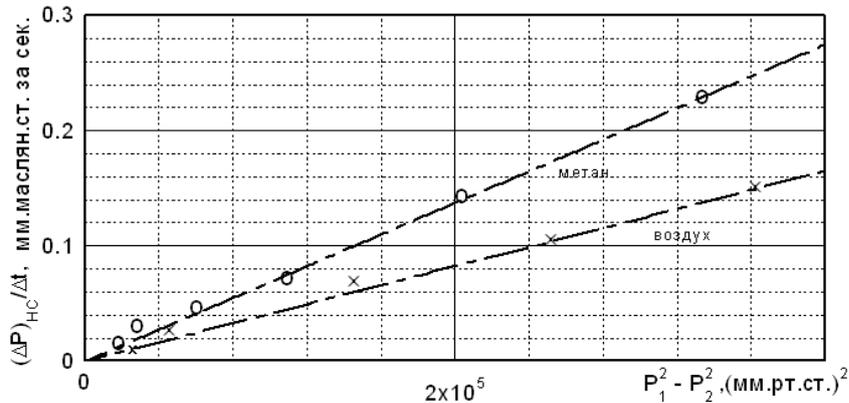


Рисунок 1 - Зависимость скорости изменения давления газа в накопительном сосуде от разности квадратов давлений на торцах образца угля.

Линейный характер зависимости $(\overline{\Delta P}_{HC}/\Delta t)$ от $\Delta(P^2)$ показывает, что даже в области низких давлений (ниже атмосферного) можно говорить о вязком течении газов в каменном угле и, соответственно, о правомочности использования закона Дарси для его описания.

Сравним, далее, поток метана в приведенном выше опыте с потоком газа при его десорбции из навески угля. Масса навески составляла 20 грамм, размер гранул угля $R_{gp} = 2,0 \div 2,5$ мм, предварительное насыщение производилось метаном, сжатым до давления 30 атм. Регистрация хода десорбции начиналась через 5 с. В ходе эксперимента регистрировалось изменение давления газа в накопительном сосуде по мере его выхода из угля. На рис. 2 показана кинетика десорбции метана из угля в предварительно вакуумированный сосуд объемом $V_{HC}^{dec} = 1217$ см³.

Имея данные по стационарному течению газа, можно рассчитать величину $\Delta(P^2)^{dec}$, градиент которой по длине открытых пор в гранулах угля определяет наблюдаемый в ходе десорбции поток газа:

$$\Delta(P^2)^{dec} = \left[\frac{\Delta(P^2)}{\partial P_{HC} / \partial t} \right]^{стационар} \cdot \frac{V_{HC}^{dec}}{V_{HC}^{стационар}} \cdot \frac{R_{gp}^2 \cdot S_{цил}}{3 \cdot V_{угля} \cdot l_{цил}} \cdot \left[\frac{\partial P_{HC}}{\partial t} \right]^{dec} \quad (3)$$

В формуле (3) значения параметров в первой квадратной скобке соответствуют стационарному потоку газа, а во второй – потоку при десорбции.

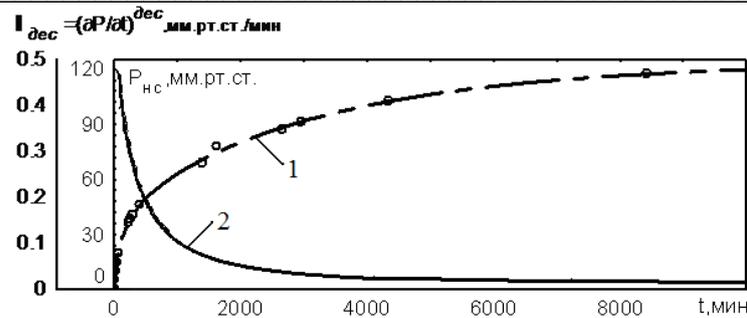


Рисунок 2 - Кинетика изменения скорости (1) и давления метана (2) в накопительном сосуде.

Подставляя в формулу 3 численные значения, можно найти, что в начальный момент регистрации десорбции метана величина $\Delta(P^2)^{dec} = (P_1^2 - P_2^2)^{dec}$ составляет $4,1 \cdot 10^6$ (Па)². Когда газ из угля выделяется в предварительно вакуумированный сосуд, допустимо считать, что в начальный момент десорбции $P_2 \approx 0$. Отсюда следует, что при десорбции метана из гранул размером $2,0 \div 2,5$ мм перепад давления метана в открытых порах не превышает $\sqrt{4,1 \cdot 10^6} \approx 2 \cdot 10^3$ Па (или 15 мм.рт.ст.). Аналогичные исследования десорбции, проведенные на угле в гранулах $0,2 \div 0,25$ мм и $9,0 \div 10$ мм, показывают, что давление метана в порах составляет 2,5 и 28 мм.рт.ст., соответственно.

Полученные оценки показывают величину давления метана в порах в начальный момент регистрации десорбции. Как видно из рис. 2 (кривая 1), по мере выхода метана из микроблоков поток десорбции и фильтрации снижается. Поэтому перепад давления в порах будет уменьшаться. Время фильтрационного процесса τ_f , в течение которого давление газа в порах снижается от максимального (после насыщения угля) до минимального (при десорбции) оценивалось по формуле Л.С. Лейбензона [6]:

$$\tau_f = 4 \cdot R_{sp}^2 \cdot \eta \cdot \gamma / \kappa \cdot \pi^2 \cdot P_1, \quad (4)$$

где η – вязкость метана ($\eta = 1,08 \cdot 10^{-5}$ Н/м²); κ – проницаемость угля, l_1 шахты им. А.Ф. Засядько ($\kappa = 0,21$ мД).

Было установлено, что величина τ_f различна для различного размера гранул угля и составляет, в частности, 0,048, 0,8 и 7,6 с для гранул диаметром 0,2, 2,0 и 9,5 мм соответственно. Отметим, что полученные оценки величин τ_f справедливы для конкретного угля, который был насыщен метаном под определенным давлением. При ином насыщении баланс потоков диффузии и фильтрации будет характеризоваться другими значениями P_1 и τ_f .

Таким образом, впервые экспериментально подтверждено, что выход газа, содержащегося в открытых порах угля ($Q_{cv} + Q_{adc}$), происходит в первые доли секунды после расконсервации равновесной системы уголь-метан. При этом степень снижения газоносности угольного пласта (ΣQ_2) может составлять более 30%. Для учета этих потерь и сокращения времени анализа углеметановой пробы

достаточно измерять диффузионную составляющую потока десорбирующегося метана в шахтных условиях и соотнести с данными десорбционного паспорта угольного пласта. Десорбционный паспорт (ДП) угольного пласта - это экспериментально установленная информация (в цифровом или графическом виде) о корреляции между интенсивностью эмиссии метана из угля, пластовым давлением метана и его содержанием в угле. Для его составления необходимо выполнить лабораторные измерения кинетики десорбции метана и определить его содержание в угле. Измерения проводятся после предварительного насыщения угля в контейнерах при различных равновесных давлениях $P_{нас}$ метана. Используются образцы угля равной массы в гранулах $0.2 \div 0.25$ мм или $1.0 \div 1.5$ мм (в зависимости от марки угля) естественной влажности.

Десорбционный паспорт состоит из двух фрагментов. Первый – устанавливает зависимость интенсивности десорбции метана от величины равновесного давления газа при насыщении угля. Десорбция производится в герметичный накопительный сосуд с воздухом, в котором на отрезке времени Δt регистрируется изменение давления - ΔP^{dec} . В графическом виде сведения об изменении величины ΔP^{dec} при десорбции для нескольких значений давления $P_{нас}$ представляют семейство кривых $\Delta P^{dec}(t) = f(P_{нас})$. На базе полученной информации устанавливается зависимость ΔP^{dec} от $P_{нас}$ в любом интервале времени. На рис 3 штрихпунктиром показан прирост давления - ΔP^{dec} в накопительном сосуде за 15 минут десорбции (интервал времени десорбции 20-35 мин) в зависимости от насыщения. Второй фрагмент десорбционного паспорта устанавливает зависимость количества метана в угле от величины его давления насыщения $Q = f(P_{нас})$. Создание второго фрагмента паспорта в лабораторных условиях включает следующие операции: а) насыщение метаном при различных давлениях (от 0,5 до 10 МПа) нескольких проб угольного штыба естественной влажности; б) определение количества метана в этих пробах угля в виде зависимости $Q = f(P_{нас})$.

Для получения полной информации о давлении и количестве метана в угольном пласте, в режиме реального времени, необходимо в шахтных условиях зафиксировать в измерительной емкости давление метана от диффузионной составляющей потока из угольной фракции. После этого с использованием зависимости $\Delta P^{dec}(t) = f(P_{нас})$ и $Q = f(P_{нас})$ установить давление метана в месте отбора угольной пробы ($P_{нас}$) и газоносность пласта (Q).

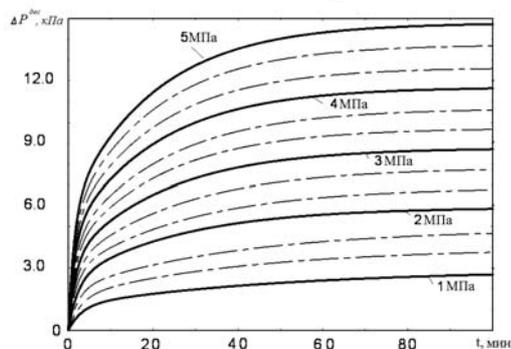


Рисунок 3 - Изменение давления в накопительном сосуде, с учетом фильтрационной и диффузионной составляющей процесса десорбции метана из угля после его насыщения.

При определении давления и количества метана в угле оптимальный размер фракции, установленный по результатам исследования гранулометрического состава бурового штыба, формирующегося при бурении скважин диаметром 42 мм, и кинетики выхода метана должен составлять для пластов пологого падения 0,25-0,315 мм, а для крутопадающих пластов 0,4-0,5 мм.

Все исследования кинетики десорбции метана представленные выше, позволили обосновать технические требования к прибору, в частности: объем десорбционной емкости (кюветы), чувствительность датчика и предельные значения давления, времен задержки измерения, объем угольной пробы.

На основании установленных закономерностей по кинетике фильтрационных и диффузионных потоков метана и угольных фракций разработан опытный образец измерителя [6] для реализации экспресс-метод определения давления и количества метана в угольных пластах.

Определения газоносности и давления метана в пласте десорбтометром ДС-03 были проведены на выбросоопасном пласте h_6' - «Смоляниновский» гор. – 1315м. в нижней нише 2й западной лавы УПЦП ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК» и в нише 1й западной лавы угрожаемого пласта l_8' «Шахты Щегловская-Глубокая». Подвигание за время наблюдений составило 260м.

Установлено, что для условий «Шахты им. А.А. Скочинского», содержание метана в призабойной части угольного пласта на глубине до 2,1м составляет в среднем $Q=4,2\text{м}^3/\text{т}$, а на глубине 4м – $Q=7,5\text{м}^3/\text{т}$, при это давления метана на тех же глубинах находится в пределе от 0,1-0,7МПа и 0,45-2,02МПа, соответственно.

Для условий «Шахта Щегловская-Глубокая» газоносность и давление метана в призабойной части угольного пласта на глубине до 2,1м находится в пределе $Q=2-4,5\text{м}^3/\text{т}$ $P=0,5-3,0\text{МПа}$, а на глубине 4м – $Q=5-8,4\text{м}^3/\text{т}$ $P=2,5-9,9\text{МПа}$.

Выводы. 1. Установлен механизм десорбции метана из угля, учитывающий особенности трещиновато-пористой структуры угля и фазового состояния метана в нем.

2. Обоснованы технические параметры, разработан и испытан шахтный измеритель газоносности и давления метана в угольном массиве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Желтов, Ю.П. О фильтрации газа в трещиноватых породах / Ю.П. Желтов, П.П. Золотарев // ПМТФ – 1962, №5.
2. Коган, Н.Д. О модели пористой структуры ископаемых углей / Н.Д. Коган, М.Ф. Яновская // ХТТ - 1968, №5, с. 26-32.
3. Беренблат, Г.И. Об основных представлениях теории фильтрации однородных жидкостей в трещиноватых породах / Г.И. Беренблат, Ю.П. Желтов, И.Н. Кочина // ИПММ. – 1960. – т. XXIV. – №5.
4. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. / Ю.Н. Малышев, К.Н. Трубецкой, А.Т. Айруни - М: Академия горных наук, 2000. -519с.
5. Алексеев, А.Д. Физика угля и горных процессов / А.Д. Алексеев // К.: Наукова думка, 2010.-422с.
6. А.с. № 96884 UA, МПК (2011.01) E21F5/00 Пристрій для виміру тиску й газоємкості вугільного пласта / А.Д. Алексеев, В.О. Васильковський, Г.П. Старіков, Я.В. Шажко [та інші.] – Вісник Інститута

REFERENCES

1. Zheltov, Yu.P. (1962), «About filtration of gas in crack breeds», *PMTF*, no.5.
2. Kogan, N.D. and Yanovskaya, M.F. (1968), «About the model of porous structure of fossil coals», *KNTT*, no. 5, pp. 26-32.
3. Berenblat, G.I., Zheltov, Yu.P. and Kochina, I.N. (1960), «About basic presentations of theory of filtration of homogeneous liquids in crack breeds», *YPM*, vol. XXIV, no.5.
4. Malyshev, Yu.N., Trubetskoy, K.N. and Ayruni, A.T. (2000), *Fundamentalniye prikladniye metody resheniya problemy metana ugolnykh plastov* [Fundamental the applied methods of decision of problem of methane of coal layers], Academy of mountain sciences, Moscow, Russia.
5. Alekseev, A.D. (2010), *Fizika uglya I gornyykh processov* [Physics of coal and rock processes], Naukova dumka, Kiev, Ukraine.
6. Alekseev, A.D., Vasylykovskiy, V.O., Starikov, G.P. and others, Institut fiziki gornyykh processov NAN Ukrainy (2010), А.с. № 96884 UA, МПК (2011.01) E21F5/00 *Prystriy dlya vymiru tisku I gazoyemkosti vugilnogo plasta* [The device for measuring is pressures and газоемкости of coal layer], Kiev, Ukraine.

Об авторах

Стариков Геннадий Петрович, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник и заведующий отделом в отделе Прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины), Донецк, Украина, zv71@mail.ru

Завражин Вячеслав Вячеславович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, старший научный сотрудник в отделе Прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины), Донецк, Украина, zv71@mail.ru

Шажко Ярослав Витальевич, кандидат технических наук, младший научный сотрудник в отделе Прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, Институт физики горных процессов Национальной академии наук Украины (ИФГП НАН Украины), Донецк, Украина, svy71@mail.ru

Мамлеев Шамиль Вениатулович, инженер, шахта «Шахтерская-Глубокая» ГП «Шахтерскантрацит», Шахтерск, Украина.

About the authors

Starikov Genadii Petrovich, Doctor of Technical Sciences (D.Sc.), Professor, Chief Researcher and Head of Department in Department of projection and control gas dynamic phenomena in mines, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU), Donetsk, Ukraine, zv71@mail.ru

Zavrazhyn Vyacheslav Vyacheslavovich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Senior Researcher, Senior Researcher in Department of projection and control gas dynamic phenomena in mines, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU), Donetsk, Ukraine, zv71@mail.ru

Shazhko Yaroslav Vitalievich, Candidate of Technical Sciences (Ph.D), Junior Researcher in Department of projection and control gas dynamic phenomena in mines, Institute of Physics of Mining Processes under the National Academy of Science of Ukraine (IFMP, NASU), Donetsk, Ukraine, svy71@mail.ru

Мамлеев Шамиль Вениатулович, Engineer, mine Shakhterskaya-Glubokaya under the Shakhterskantratsit, Shahtersk, Ukraine

Анотація. Проведена кількісна оцінка змісту вільного і адсорбованого метану у відкритих порах і мікроблоках кам'яного вугілля, насиченого метаном. Для встановлення закономірностей ступеня зміни густини потоку газу з трещиновато-пористої структури вугілля була обґрунтована фізична модель вугільної речовини, що включає тріщини, сполучені з відкритими порами (об'єм фільтрації) і закриті пори. Встановлено, що кількість метану в транспортних каналах (порах) складає більш третини від загального вмісту у вугіллі. Обґрунтований метод і засоби оцінки газоносності і тиску метану у вугіллі, заснований на особливостях газової емісії метану. Встановлений механізм десорбції метану з вугілля, що враховує особливості трещиновато-пористої структури вугілля і фазового стану метану в ньому. Обґрунтовані технічні параметри, розроблений і випробуваний шахтний вимірник газоносності і тиску метану у вугільному масиві.

Ключові слова: вільний і адсорбований метан, газоносність, тиск метану

Abstract. Content of free and adsorbed methane in the opened pores and microblocks of methane-saturated anthracite coal was estimated by quantity. To establish regularities of changes in density of the gas streams escaping through the cracks and pores of the coals a physical model of the coal matter was created which included cracks, connected with the opened pores (filtration volume), and closed pores. It is stated that methane content in the transporting channels (pores) makes more than one third from total methane content in the coal. A method of and facilities for estimating gas content and methane pressure in the coal were created basing on peculiar features of the gas emission of methane. A mechanism of methane desorption from the coal was defined with taking into account specific crack-porous structure of the coal and phase state of methane in it. Technical parameters were grounded, and a device for measuring, in mines, gas-content and methane pressure in the coal was designed and tested.

Keywords: free and adsorbed methane, gas content, methane pressure.

Стаття поступила в редакцію 04.05 2013

Рекомендована к печати д-ром геол. наук В.А. Барановым

УДК 622.862.3: 622.831.312: 004.42

И.Н. Слащев, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.,

А.И. Слащев, аспирант,

В.Г. Шевченко, д-р техн. наук, ст. науч. сотр.

(ИГТМ НАН Украины)

ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗА ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО БЕЗОПАСНОСТИ ШАХТ

I.M. Slashchov, канд. техн. наук, ст. науч. співр.,

A.I. Slashchov, аспірант,

V.G. Shevchenko, д-р техн. наук, ст. науч. співроб.

(ІГТМ НАН України)

ОПТИМІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ОПЕРАТИВНОГО ПРОГНОЗУ ГЕОМЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ З БЕЗПЕКИ ШАХТ

I.N. Slashchev, Ph.D. (Tech.), Senior Researcher,

A.I. Slashchev, M.S (Tech.), Doctoral Student,

V.G. Shevchenko, D.Sc. (Tech.), Senior Researcher

(IGTM, NAS of Ukraine)

OPTIMIZED INFORMATION SYSTEM FOR ON-LINE PREDICTING OF GEOMECHANICAL PROCESS BEHAVIOR AND ENSURING PROPER DECISION-MAKING ON THE MINE SAFETY

Аннотация. В статье решена актуальная задача повышения быстродействия и эффективности работы информационной системы оперативного прогнозирования геомеханических и газодинамических процессов для обеспечения безопасности ведения подземных горных работ. С применением методов построения архитектуры проектов и программных моделей вычислительных и информационных процессов определены взаимосвязи между группами классов в объектно-ориентированной информационной системе, которые обеспечивают корректность выполнения алгоритмов и влияют на быстродействие системы. Дальнейшее развитие получил метод оценки вычислительной эффективности программных комплексов, отличающийся алгоритмом минимизации сумм отклонений метрик нестабильности и абстрактности Мартина по всем группам классов проекта. Исследованиями установлено, что время расчета в программах визуализации больших массивов данных снижается при увеличении центроостремительного сцепления взаимосвязанных групп классов и увеличивается при возрастании их абстрактности, что позволило за счет минимизации сумм отклонений метрик нестабильности и абстрактности Мартина по всем группам классов проекта получить наилучшую сбалансированность программного комплекса. Выполненные изменения исходного кода информационной системы позволили снизить отклонение параметров абстрактности и нестабильности от главной последовательности в среднем на 28 %. Новая архитектура проекта послужила основой информационной системы для поддержки принятия решений по безопасности шахт.

Ключевые слова: безопасность горных работ, моделирование, геомеханика, визуализация, оптимизация информационных систем, программная инженерия.