

Г.Г. Каркашадзе, Е.В. Мазаник, П.Н. Пащенко

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ, ГАЗОПРОНИЦАЕМОСТИ И ПАРАМЕТРОВ СОРБЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ШАХТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ИСТЕЧЕНИЯ МЕТАНА ИЗ КОРОТКИХ СКВАЖИН

Представлены результаты измерения пластового давления метана из коротких скважин и сорбционных свойств угольного пласта. Предлагается прямой метод определения пластового давления метана, заключающийся в измерениях давления газа в коротких скважинах длиной 36 м, пробуренных из вентиляционного штрека. Главной идеей работы является измерение в течение времени дебита метана и давления метана, соответственно в открытой и закрытой скважине. Искомые параметры массопереноса определяют сопоставлением экспериментальных данных с результатами компьютерного моделирования процесса массопереноса метана. Разработана методика и средства для измерений давления и дебитов метана. Представлены результаты апробации методики в шахтных условиях, подтвердившие ее работоспособность. Ключевые слова: уголь, пласт, проницаемость, параметры сорбции, пластовое давление метана, шахтный эксперимент, компьютерное моделирование.

Величина пластового давления метана, газопроницаемость угольного пласта и константы сорбции Ленгмюра в значительной мере определяют газообильность горных выработок. Знание этих параметров особенно необходимо для оптимального планирования работы выемочного участка с высокими нагрузками на очистной забой и при решении практических задач дегазации угольных пластов при подземной разработке или промысловой добыче метана.

Для определения констант сорбции Ленгмюра существуют достаточно апробированные лабораторные методики, предус-

матривающие насыщение угольного образца метаном и измерение массы сорбированного метана в зависимости от его давления. Альтернативным способом является шахтная методика, представленная ниже. Достоинством данного способа является возможность оперативного получения дополнительной информации в рамках проводимых шахтных испытаний на масштабном объекте — непосредственно в угольном пласте.

Главной идеей методики является последовательное измерение в течение времени дебита метана из открытой дегазационной скважины и последующего измерения давления метана в этой же, но закрытой, скважине. Искомые характеристики находят методом решения обратной задачи путем обработки экспериментальных данных и сопоставления измерений с теоретической моделью процесса массопереноса метана в дегазационную скважину. В соответствии с методикой необходимо определить четыре неизвестных параметра: пластовое давление метана, коэффициент газопроницаемости угольного пласта вокруг дегазационной скважины и две константы, входящие в изотерму сорбции Ленгмюра

$$q = \frac{abp}{1 + ap} \quad (1)$$

где q — газоносность, $\text{м}^3/\text{т}$; a , b — константы изотермы сорбции Ленгмюра; p — давление метана, Па.

В качестве основополагающего дифференциального уравнения массопереноса метана в угольном пласте, использовано уравнение, хорошо апробированное и описанное в работах [1, 2, 3]

$$\frac{\partial}{\partial t} \left[mp + (1 - m) \frac{abp}{(1 + ap)} \right] - \text{div} \left(\frac{k}{\mu} \rho \cdot \text{grad} p \right) = 0, \quad (2)$$

где m — эффективная пористость; ρ — плотность метана, $\text{кг}/\text{м}^3$; k — газопроницаемость угля, м^2 ; μ — динамическая вязкость газа, Па·с.

Согласно методике сначала определяют пластовое давление метана, которое соответствует установившемуся режиму нарастанию давления газа в закрытой дегазационной скважине. Очевидно, решение уравнения (2) в установившемся режиме не зависит от газопроницаемости угля и констант Ленгмюра и поэтому величина установившегося давления является истинным пластовым давлением метана в угольном пласте.

Второй параметр — коэффициент газопроницаемости угля вокруг дегазационной скважины находится путем измерения

дебита метана, также в установившемся режиме, который реализуется при больших временах истечения метана из открытой скважины. В установившемся режиме дебит метана, как следует из уравнения (2), зависит только от коэффициента газопроницаемости и известного уже пластового давления метана.

Наконец, для определения двух констант Ленгмюра следует воспользоваться уравнением (2) в нестационарном режиме массопереноса, сопоставив решение также с двумя экспериментальными зависимостями, полученными:

- первая — на стадии нарастания давления в закрытой скважине в эксперименте с определением пластового давления;
- вторая — на стадии установившегося свободного истечения метана из дегазационной скважины.

По данной методике испытаний решение обратной задачи приводит к достоверной информации об искомых параметрах, поскольку полученные коэффициенты отражают реальный процесс дегазации на всех стадиях сорбции или десорбции метана в угольном пласте.

Испытания методики выполнены в 2015 г. на шахте им. С.М. Кирова ОАО «СУЭК-Кузбасс». Испытательные скважины пробурены в вентиляционной печи 24–58 пласта Болдыревского. Длина скважин 30–36 м, диаметр 132 мм; Расстояние между пробуренными скважинами составляет 64 м. Важной производственной особенностью испытаний является то, что в процессе экспериментов удалось осуществить надежную герметизацию устьевой части скважин на глубину порядка 30 м. Для этого была реализована технология нагнетательного заполнения коаксиального пространства герметизирующим составом «Шактиклей». Таким образом, пространство между металлической обсадной трубой диаметром 70 мм (толщина стенки 5 мм) и полостью скважины было загерметизировано. После герметизации обсадной трубы скважину разбуривали коронкой диаметром 50 мм на длину 2–4 м. Герметичность скважин проверялась путем нагнетания воды под давлением до 20 бар. Просочивания воды не было. Спустя некоторое время была произведена гидравлическая обработка пласта путем нагнетания воды в скважину с темпом 10 л/с. При давлении воды 215 бар был зафиксирован сброс давления, что свидетельствует о гидравлическом разрыве пласта и распространении воды по образованной магистральной трещине. После сброса воды из скважины ее закрыли и произвели измерение пластового давления метана в течение времени. Результаты измерений представлены на рис. 1, из которого сле-



Рис. 1. Кривая нарастания давления в короткой скважине

дует, что пластовое давление метана в угольном пласте на участке бурения данной скважины составляет 32 бар.

Представленная технологическая схема, реализованная на практике, описана также в компьютерном варианте средствами программного обеспечения «COMSOL Multyphysics». На рис. 2 представлен объект моделирования скважины применительно к рассмотренному геометрическому объекту.

Фильтрационные характеристики угольного пласта определены на основе сопоставления данных эксперимента с теоретической зависимостью, представленной на рис. 3. Теоретическая зависимость устанавливалась методом вариации параметров Ленгмюра, проницаемости пласта и фиксированном пластовом давлении метана при компьютерном моделировании.

Установлено, что совпадение результатов компьютерного моделирования и результатов эксперимента с погрешностью не более 5% имеет место при следующих параметрах:

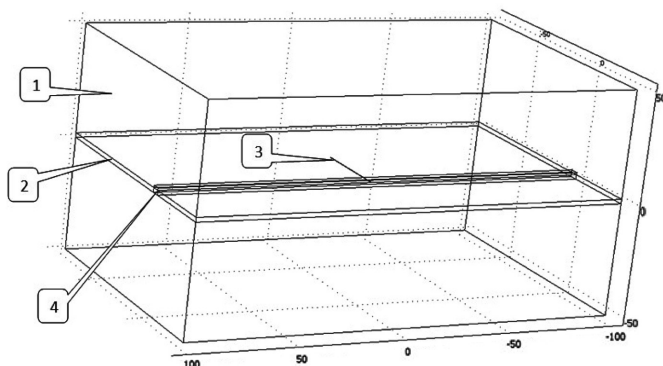


Рис. 2. Модель короткой скважины в угольном пласте: 1 – вмещающие породы; 2 – угольный пласт; 3 – экспериментальная скважина; 4 – выработка (вентиляционный штрек)

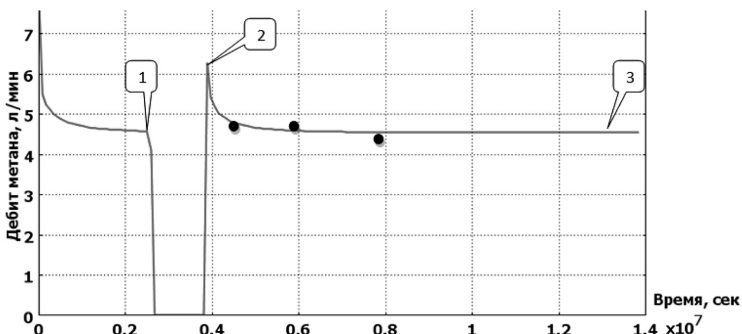


Рис. 3. Теоретическая зависимость и экспериментальные точки: 1 — дебит в момент закрытия скважины; 2 — дебит после открытия скважины; 3 — установившийся дебит метана

- пластовое давление метана 32 бар;
- коэффициент проницаемости угольного пласта в зоне гидравлической обработки $7,7 \cdot 10^{-18} \text{ м}^2$ ($7,7 \text{ мкД}$);
- параметры сорбции Ленгмюра угольного пласта: $a = 1,9 \cdot 10^{-5} \text{ Па}^{-1}$; $b = 30,0 \text{ кг/м}^3$.

Представленный методический прием определения констант Ленгмюра и пластового давления дополняет лабораторные методики и имеет перспективу использования при моделировании задач пластовой дегазации. При этом вычисленный коэффициент проницаемости не следует принимать в качестве характеристики коллекторских свойств пласта, поскольку гидравлическая обработка вносит коррективы из-за нарушения природной целостности пласта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полубаринова-Кочина П. Я. О неустановившейся фильтрации газа в угольном пласте // Прикладная математика и механика. — 1953. — Т. 17. — № 6. — С. 735–738.
2. Христианович С. А., Коваленко Ю. Ф. Об измерении давления газа в угольных пластах. Академия наук СССР. Сибирское отделение // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Механика горных пород и горное давление. — 1988. — № 3. — С. 3–23.
3. Сластунов С. В., Каркашадзе Г. Г., Коликов К. С. Методика расчета допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору. Сборник научных трудов по материалам симпозиума «Неделя горняка-2009». — М.: Изд. МГГУ, 2009. — С. 151–159.
4. Сластунов С. В., Каркашадзе Г. Г., Мазаник Е. В. Методика и результаты измерения пластового давления метана и сорбционных свойств угольного пласта // Газовая промышленность (спец. вып.). — 2012. — № 672. — С. 48–4. **ГИАН**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Каркашадзе Георгий Григорович*¹ – доктор технических наук, профессор, e-mail: g-karkashadze@mail.ru,
Мазаник Евгений Васильевич – зам. генерального директора по аэрологической безопасности, ОАО «СУЭК-Кузбасс»,
*Пащенко Павел Николаевич*¹ – аспирант, e-mail: mcpavel@mail.ru,
¹ МГИ НИТУ «МИСиС».

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 9, pp. 259–264.

UDC
622.411.33

G.G. Karkashadze, E.V. Mazanik, P.N. Pashchenkov
**RESULTS OF DETERMINING RESERVOIR
PRESSURE, PERMEABILITY AND SORPTION
PARAMETERS OF COAL SEAM MINING
ON RESULTS OF MEASUREMENTS
OF METHANE FLUX FROM SHORT WELLS**

Presents the results of measuring the formation pressure of methane from short wells and the sorption properties of the coal seam. A method is proposed for determining the formation pressure of methane, consisting in the measurement of gas pressure in the wells short length of about 36 m, were drilled from the roadway. The main idea of the paper is to measure over time the methane flow rate and pressure of methane respectively in open and closed well. The required parameters of mass transfer is determined by comparison of experimental data with results of computer modeling of process of filtration of methane. The developed methodology and tools for measuring pressure and flow rates of methane. Presents the results of the testing in the mine conditions, which confirmed its efficiency.

Key words: coal seam, permeability, methane pressure, sorption parameters, mine experiment, computer modeling, Langmur constants.

AUTHORS

*Karkashadze G.G.*¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: g-karkashadze@mail.ru,
Mazanik E.V., Deputy General Director, SUEK-Kuzbass JSC,
652501, Leninsk-Kuznetskiy, Russia,
*Pashchenkov P.N.*¹, Graduate Student, e-mail: mcpavel@mail.ru,
¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,
119049, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Polubarinova-Kochina P.Ya. *Prikladnaya matematika i mekhanika*. 1953. T. 17, no 6, pp. 735–738.
2. Khristianovich S.A., Kovalenko Yu.F. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh. Mekhanika gornykh porod i gornoe davlenie*. 1988, no 3, pp. 3–23.
3. Slastunov S. V., Karkashadze G. G., Kolikov K. S. *Metodika rascheta dopustimoy nagruzki na ochistnoy zaboy po gazovomu faktoruu. Sbornik nauchnykh trudov po materialam simpoziuma «Nedelya gornyaka-2009»* (Calculation procedure for allowable gas content of production heading area. Miner's Week–2009: Symposium proceedings), Moscow, Izd. MGGU, 2009, pp. 151–159.
4. Slastunov S. V., Karkashadze G. G., Mazanik E.V. *Gazovaya promyshlennost'*, Special edition, 2012, no 672, pp. 48–4.