

УДК 622.537.86

Г.П. Стариков, В.А. Васильковский, В.В. Завражин, И.Е. Кольчик,
Я.В. Шажко, А.Н. Бойко

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНОЙ ДЕСОРБОМЕТРИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ МАССОПЕРЕНОСА МЕТАНА В УГЛЕ

Институт физики горных процессов НАН Украины

В статье приведены результаты испытаний десорбометра ДС-03 в условиях пласта h_6' – «Смоляниновский» ОП «Шахта им. А.А. Скочинского».

Ключевые слова: шахта, лава, метан, десорбция метана из угля, десорбометр, угольный пласт, давление метана в угольном пласте

В настоящее время практически отсутствуют экспресс-методы определения давления и количества метана в угольных пластах. Знание этих параметров значительно повысит качество диагностики газодинамической активности угольного массива и оценку массопереноса метана при технологическом разрушении угля.

Для решения данной проблемы наиболее приемлемыми являются методы десорбометрии, которые интегрально учитывают либо скорость десорбции газа (дифференциальный способ), либо давление в накопительном сосуде (интегральный).

Наибольшее распространение среди зарубежных и отечественных исследователей получил дифференциальный способ определения газоносности угольных пластов [1–3]. В его основу положен принцип измерения удельного объемного выхода метана v из угольной пробы в течение заданного интервала времени t , аппроксимация зависимости $v = f(t)$ степенной функции, интегрирование которой оценивает объем десорбируемого метана.

К основным недостаткам данной методологии следует отнести неучет потери метана во время выбуривания угольного штыва, а также некорректное определение скорости десорбции, существенно зависящей от фазового состояния метана, пористости и гранулометрического состава угля, температуры и т.д. Таким образом, дифференциальная десорбометрия исключает возможность определения давления метана в угольных пластах.

Учитывая данный факт, ИФГП НАН Украины разработал научное обоснование метода определения газоносности угольных пластов, основанного на закономерностях, связанных с фазовым состоянием и механизмами десорбции метана из угольного штыва [4, 5] с использованием принципа инте-

графальной десорбиметрии. Для реализации установленных закономерностей был создан десорбиметр, включающий накопительные емкости с датчиками давления, программируемый контроллер с процессором. Принцип работы десорбиметра основан на сопоставлении результатов измерения давления десорбирующегося газа из угля в накопительных емкостях в определенный период времени с данными десорбционного паспорта диагностируемого угольного пласта, находящиеся в памяти контроллера [6].

Десорбционный паспорт угольного пласта – это экспериментально установленная информация о корреляции между интенсивностью эмиссии метана из угля, пластовым давлением метана и его содержанием в угле. Для его составления выполняются предварительные лабораторные измерения параметров кинетики сорбции метана углем и десорбции метана из угля.

Определение кинетики этих параметров производят с использованием угольных проб, отбираемых со свежееобнаженной поверхности очистного забоя на расстоянии 20–25 м от подготовительных выработок с глубины 0,3–0,5 м. На пластах сложного строения отбирают пробы из каждой пачки. Место отбора должно быть удалено от зон нагнетания воды и других технологических скважин. Время между отбором угольных проб и подготовкой их к метанонасыщению не должно превышать 36 ч.

Для построения десорбционного паспорта пласта используют угольные пробы фракций 0,2–0,3 мм массой около 20 г в количестве не менее 10 шт, которые помещают в контейнеры высокого давления и насыщают метаном при давлении от 0,5 до 5,0 МПа с интервалом 0,5 МПа. Время насыщения должно составлять 360 ч. Затем во время обратного процесса десорбции производят регистрации нарастания давления в герметическом накопительном сосуде. По результатам исследований строят зависимости $Q = f(t)$ при $P = \text{const}$ и $\partial Q / \partial t = f(t)$ (где Q – объем десорбированного метана; P – начальное давление метана при насыщении образца угля), используемые для составления десорбционного паспорта пласта.

Измерение степени газонасыщенности угольных образцов производят с помощью устройства, приведенного на рис. 1. Оно включает баллоны высокого давления до 15 МПа 1, манометр МО 150×250 2, двухходовые краны

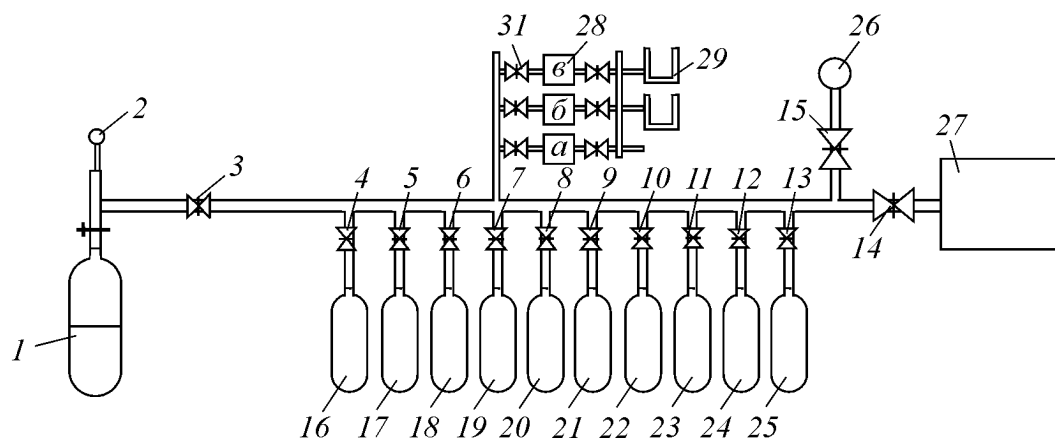


Рис. 1. Устройство для определения параметров десорбционного паспорта пласта

ВР-2 3–15, 31 ($P_1 = 20$ МПа, $P_2 = 5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.) в количестве 19 шт, емкости для насыщения метаном 16–25 объемом 20 см^3 на давление до 15 МПа в количестве 10 шт, вакуумметр ОБМВ1-100 26, вакуумный насос ЗНВР-1 27, термометр СНОП-3,5/35-41 ($T = 350^\circ\text{C}$, $\Delta T = \pm 0,1\%$), весы ВПР-200 второго класса точности с погрешностью ± 10 мг, два ртутных манометра РМ-1000, герметические накопительные емкости 28, а, б, в объемом 1, 2, 5 л, сита класса 1,0–2,5 мм.

Десорбционный паспорт (ДП) состоит из двух фрагментов (рис. 2). Первый устанавливает зависимость интенсивности десорбции метана от величины равновесного давления газа при насыщении угля. Эта зависимость $P_d = f(P_H)$ в интервале времени до 100 мин позволяет устанавливать давление метана в угольном пласте (кривая 1) в месте отбора проб.

При построении фрагмента ДП с использованием кинетики газовыделения метана в накопительный сосуде объемом 400 см^3 искусственно вводится задержка на 15–20 мин времени измерения выхода метана для учета его потери при выбуривании угля в шахтных условиях.

Создание второго фрагмента паспорта в лабораторных условиях включает:

- насыщение метаном при различных давлениях (от 0,5 до 10 МПа) нескольких проб угольного штыба естественной влажности P_H ;
- определение количества свободного метана, адсорбированного на поверхностях открытых пор и трещин, а также метана, содержащегося в микроблоках угля Q_c .

Набор цифровых значений функции $Q_c = f(P_H)$ составляет содержание второго фрагмента ДП (рис. 2, кривая 2), используемого для определения количества метана в угольном пласте.

Цифровые значения фрагментов десорбционного паспорта, введенные в электронный блок памяти, составляют информационную базу, необходимую для работы десорбметра. Сравнение результатов десорбметрических измерений, которые выполняются в шахтных условиях, с данными информационной базы позволяет в автоматическом режиме устанавливать давление и количество метана в угле в месте отбора пробы.

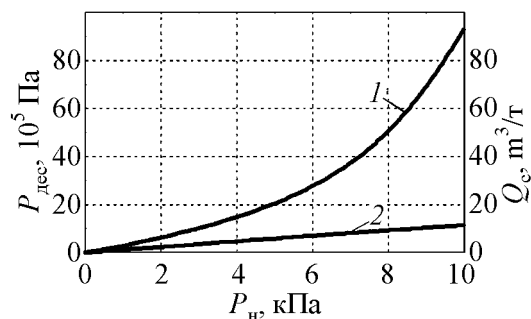


Рис. 2. Десорбционный паспорт пласта h_6' – «Смоляниновский»: 1 – зависимость $P_d = f(P_H)$; 2 – зависимость $Q_c = f(P_H)$

Для определения давления и количества метана в угольном пласте отбирают пробы угля из шпуров диаметром 42 мм с глубины 0,7; 1,4 и 2,1 м. Для этого пробуривают шпур на глубину 0,7 м и прорабатывают, т.е. буровую штангу проворачивают без продвижения вперед до полного выхода измельченного угля (бурового измельчения). После этого продолжают бурение шпура до глубины 1,4 м и собирают

измельченный уголь, который высыпается из шпура, в кассету из двух сит с ячейками. Отсеянный уголь фракцией 0,2–0,4 мм помещают в пробоотборник объемом 20 см³. Время на все операции от начала бурения шпура на глубинах 0,5–2,1 м до заполнения пробоотборника не должно превышать 5 мин.

Для отбора следующей пробы угля пробуривают шпур на глубину 1,4 м, прекращают подачу буровой штанги и прорабатывают шпур до полного выхода бурового штыба. После этого продолжают бурить шпур до глубины 2,1 м и собирают штыб на сита. Последующие действия такие же, как и в случае подготовки первой пробы.

Места бурения шпуров и отбора проб должны быть удалены от зон, где проводилась обработка пласта согласно НАОП 1.1.30-5.06.

Испытание десорбметра ДС-03 проводилось на ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК» по пласту h_6' – «Смоляниновский» в нижней нише 2-й западной лавы уклонного поля центральной панели (рис. 3).

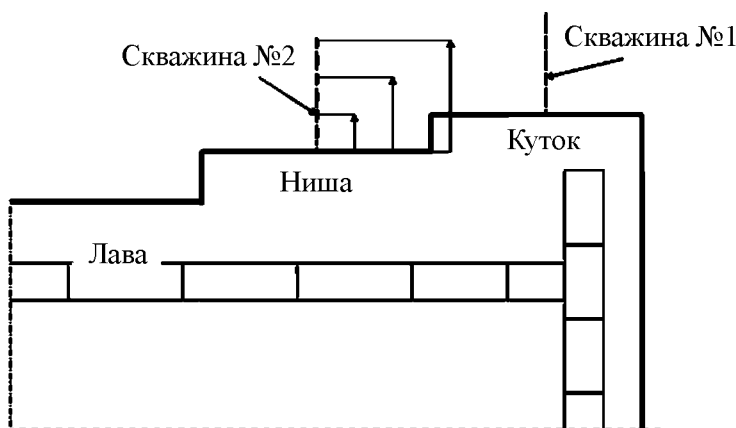


Рис. 3. Схема отбора проб по пласту h_6' – «Смоляниновский» в нижней нише 2-й западной лавы УПЦП ОП «Шахта им. А.А. Скочинского» ГП «ДУЭК»

Пласт h_6' – «Смоляниновский» отрабатывается на глубине 1300 м с углом падения 12–13°. Мощность пласта составляет 1,6–2,0 м, в отдельных зонах пласта могут наблюдаться утонения до 0,5 м и раздутия до 2,6 м. Объемный вес угля составляет 1,27 т/м³, по фактическим данным 1,3–1,35 т/м³. Угольный пласт h_6' относится к особо опасным по внезапным выбросам угля и газа, суфлярным выделениям газа, взрывчатости угольной пыли. Природная газоносность угольного пласта 18–20 м³/т.с.д.

Бурение и отбор проб в нижней нише лавы осуществляли по схеме, приведенной на рис. 3, из которого видно что из двух скважин отбирали пробы угольного штыба с интервалом 0,7 м. Расстояние между скважинами составляло 4 м. Скважину №1 бурили на расстоянии 1 м от стенки выработки. С помощью десорбметра определяли давление и количество метана в пласте. Эксперимент проводили по ходу подвигания очистного забоя на протяжении 70 м. Зависимость давления метана в угольном пласте по данным, полученным из образцов, взятых из скважины №1, от расстояния по мере подвигания очистного забоя представлена на рис. 4,а.

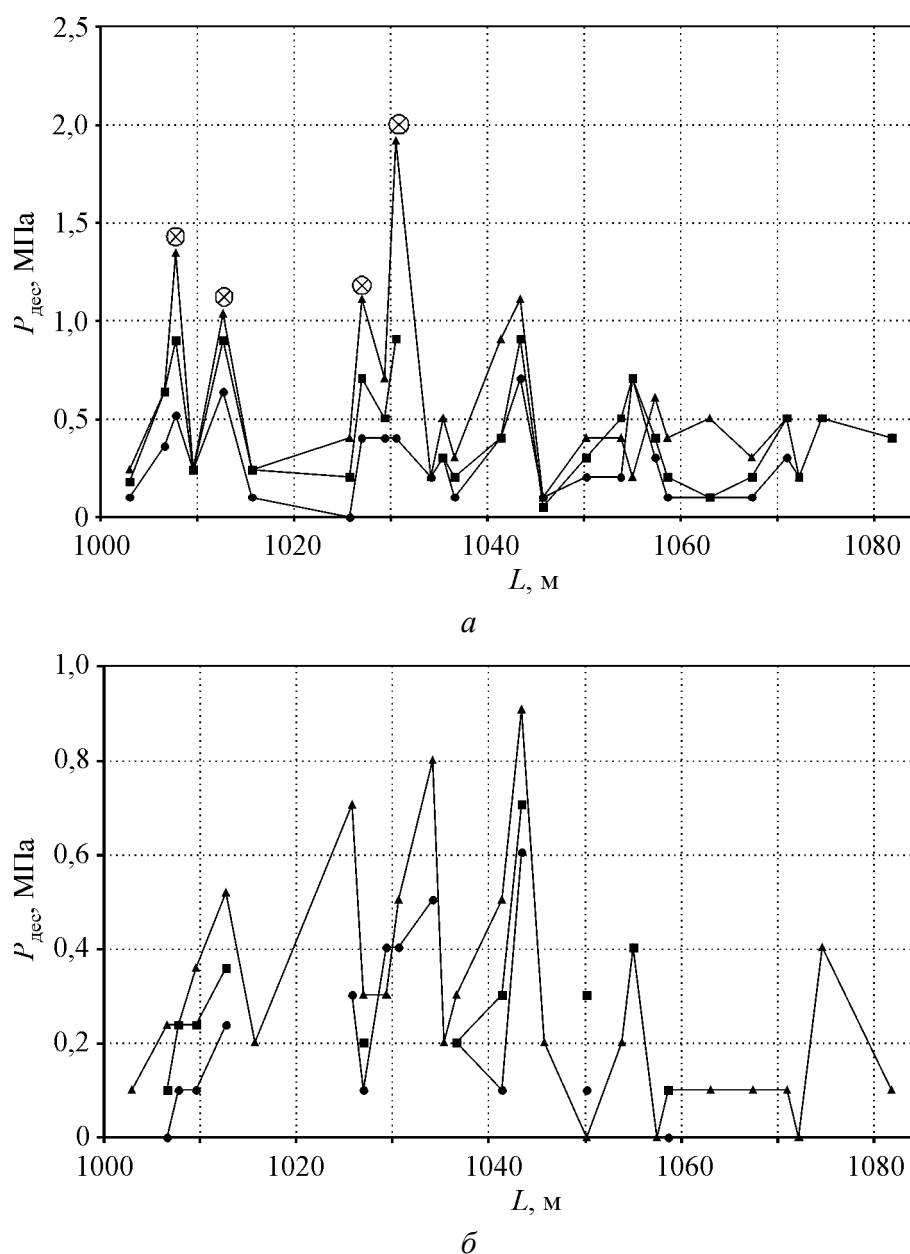


Рис. 4. График изменения давления метана в угле по мере подвигания очистного забоя: *a* – скважина №1, *б* – скважина №2; ● – глубина 0,7 м, ■ – 1,4 м, ▲ – 2,1 м; ⊗ – ГДЯ

Аналогичные замеры выполняли и в скважине №2, находящейся на расстоянии 5 м от кутка (рис. 4,б). Результаты измерений показали, что на глубине 2,1 м давление метана в пласте уменьшилось в среднем в 2,7 раза относительно измерений в скважине №1. Это свидетельствует о более интенсивной разгрузке и, как следствие, дегазации пласта в области скважины №2 и хорошо согласуется с общепринятыми представлениями о поведении угольного пласта в кутковой части лавы. При этом содержание метана и его давление в призабойной части пласта зависят не только от природной проница-

емости пласта, но и от времени его дегазации (перерыва между взрываниями). Отмечается также устойчивое снижение газового давления и содержания метана в угле в замерах, следующих за ГДЯ, относительно замеров, ему предшествующих. Так, при производстве буровых работ на следующий день после ГДЯ снижение давления газа в пласте меньше, чем при выполнении бурения через 2–3 сут: в среднем в 1,7 раза – на глубине 0,7 м, в 2,4 раза – на глубине 1,4 м и в 4 раза – на глубине 2,1 м.

Для оценки надежности результатов определения давления метана в пласте десорбодетром ДС-03 были проведены сравнительные измерения по данным замеров концентрации метана в лаве датчиками системы УТАС после взрывных работ в нише (таблица). Удельное метановыделение при этом находилось из выражения

Таблица

Содержание метана в угольном пласте

№ п/п	Протяженность исследуемого участка, м	Давление метана в пласте P_d , 10^5 Па	
		по данным УТАС	среднее, установленное десорбодетром
1	1004	1,6	1,6
2	1007,6	–	3,3
3	1008,8	–	5,6
4	1010,6	3,5	2,4
5	1013,7	–	6,1
6	1016,7	–	2,0
7	1026,8	–	3,2
8	1028	–	4,8
9	1030,4	4,6	4,6
10	1031,6	11,0	8,2
11	1035,2	4,4	4,3
12	1036,4	–	3,3
13	1037,6	3,8	2,2
14	1042,4	3,5	4,3
15	1044,4	3,8	8,1
16	1046,8	–	1,2
17	1051,2	–	2,6
18	1054,8	3,0	3,3
19	1056	3,5	4,7
20	1058,4	–	4,3
21	1059,6	–	1,8
22	1064	–	2,0
23	1068,4	2,0	1,8
24	1072	1,9	3,5
25	1073,2	–	2,0
26	1075,6	1,9	4,8
27	1082,8	1,6	3,3

$$I = \frac{\sum \bar{I}_0 t}{A}, \text{ м}^3/\text{т},$$

где A – масса отбитого угля, т; t – время, прошедшее с момента отбойки угля, мин; $\sum \bar{I}_0$ – среднее суммарное метановыделение из отбитого угля в лаву,

$$\sum \bar{I}_0 = (I_0^1 + I_0^2 + \dots + I_0^n) / n, \text{ м}^3/\text{мин},$$

где n – количество точек замера концентрации метана; I_0 – метановыделение из отбитого угля в лаву,

$$I_0 = \frac{C(I_\phi + Q)}{100}, \text{ м}^3/\text{мин},$$

где C – прирост концентрации метана в лаве, вызванный метановыделением из отбитого угля, %; I_ϕ – метановыделение из угольного пласта в лаве, м³/мин; Q – расход воздуха в лаве, м³/мин.

После определения удельного метановыделения ($I = Q_c$) по зависимостям, приведенным на рис. 1, устанавливали давление метана в пласте P_d . Результаты расчетов сведены в таблицу, из которой видно, что сравниваемые значения достаточно близки. Случаи расхождения значений объясняются недостаточным числом замерных скважин и количеством замеров при определении средней величины давления метана в пласте на участке длиной 8,5 м и шириной 2,1 м, в особенности, если учитывать, что данный участок включает в себя кутковую часть лавы и имеет значительный перепад давлений метана.

Таким образом, определяемые десорбометром значения давления метана дают нам достаточно точную картину состояния призабойной зоны пласта и благодаря оперативности получения результатов могут быть прогнозными для целого ряда факторов, влияющих на уровень безопасности работ.

Из изложенного выше можем сделать следующий вывод: десорбометр ДС-03 является надежным инструментом, а методика замеров для определения давления и количества метана в угле непосредственно в шахтных условиях показала большую точность.

1. Янас Х. Определение газоносности угля в забое при помощи десорбометра / Х. Янас // Глюкауф. – 1976. – № 20. – С. 12–15.
2. Неак К. Разработка методов и приборов для оценки выбросоопасности / К. Неак, Х. Янас // Глюкауф. – 1981. – № 13. – С. 10–15.
3. Бокий Б.В. Применение интегральной десорбометрии для прогнозирования выбросоопасных зон угольных пластов / Б.В. Бокий, С.Г. Ирисов, П.Г. Ставитский // Уголь Украины. – 2009. – № 10. – С. 26–28.

4. *Алексеев А.Д.* Массоперенос метана в угле, обусловленный совместной фильтрацией и диффузией / А.Д. Алексеев, Э.Л. Фельдман, Т.А. Василенко, А.Н. Молчанов, Н.А. Калугина // Физика и техника высоких давлений. – 2004. – Т. 14, №3. – С. 15–28.
5. *Алексеев А.Д.* Кинетика и механизмы десорбции метана из угля / А.Д. Алексеев, В.А. Васильковский, Н.А. Калугина // Физико-технические проблемы горного производства. – Донецк, 2005. – Вып. 8.– С. 9–21.
6. *Алексеев А.Д.* Экспресс-метод и десорбметр для определения газового давления и количества метана в угольном пласте / А.Д. Алексеев, В.А. Васильковский, А.Н. Молчанов, А.И. Спожакин, Г.П. Стариков // Наука та інновації. – 2009. – Т. 5. – С. 48–51.

Г.П. Стариков, В.А. Васильковский, В.В. Завражин, І.Є. Кольчик,
Я.В. Шажко, А.Н. Бойко

ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ДЕСОРБОМЕТРІЇ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРІВ МАСОПЕРЕНОСУ МЕТАНУ В ВУГІЛЛІ

В статті наведено результати випробувань десорбметра ДС-03 в умовах пласта h₆' – «Смолянiновський» ОП «Шахта ім. О.О. Скочинського».

Ключові слова: шахта, лава, метан, десорбція метану з вугілля, десорбметр, вугільний пласт, тиск метану у вугільному пласті

G.P. Starikov, V.A. Vasilkovsky, V.V. Zavrzhin, I.E. Kolchik,
Y.V. Shazhko, A.N. Boyko

APPLICATION OF CUMULATIVE DESORPTION METERS FOR DETERMINATION OF METHANE TRANSFER PARAMETERS IN COALS

In-mine test results of the desorbometer DS-03 under conditions of coal seam h₆' «Smolyaninovskiy» at the Skochinskogo mine are presented.

Keywords: mine, longwall, methane, methane desorption from coal, desorption meters, coal seam, in-seam methane pressure

Статья поступила в редакцию 3 июня 2010 года