

PACS: 91.60.Tn

Г.П. Стариков¹, Ю.А. Службин^{1,2}, О.В. Шажко¹

ШАХТНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ МАССОПЕРЕНОСА МЕТАНА

¹Институт физики горных процессов, Донецк

²Донецкий физико-технический институт им. А.А. Галкина

Статья поступила в редакцию 16 октября 2020 года

Разработан переносной прибор, позволяющий прогнозировать степень выбросоопасности угольного пласта на основе анализа коэффициентов диффузии и массопереноса метана.

Ключевые слова: метан, угольный пласт, коэффициент диффузии, выбросоопасность

Для повышения безопасности отработки выбросоопасных пластов необходим постоянный мониторинг фазового состояния и количества метана в призабойной части угольного массива. Одним из возможных направлений решения этой проблемы является разработка экспресс-методов и технических средств для установления кинетики десорбции метана непосредственно в пластовых горных выработках.

Ключевой параметр, характеризующий скорость переноса и накопления метана, – соотношение интерполяционных компонент экспериментально определяемых релаксационных зависимостей эффективного коэффициента диффузии метана [1].

На базе установленных закономерностей истечения метана из угля в замкнутый объем в условиях совместного протекания фильтрации и диффузии был разработан шахтный измеритель массопереноса метана (рис. 1) [2].

Прибор реализует принцип интегральной десорбметрии, основанный на регистрации процесса накопления газа в двух герметичных кюветах с пробоотборниками и образцами штыба угольного пласта фракций R_1 (0.2–0.3 mm) и R_2 (0.4–0.8 mm) за определенное время. Коэффициент диффузии метана в угле



Рис. 1. Внешний вид прибора

путем математической обработки зафиксированных зависимостей рассчитывается по формуле

$$D = \frac{R_1^2 \ln\left(\frac{P_{t_2}}{P_{k_2}}\right) - R_2^2 \ln\left(\frac{P_{t_1}}{P_{k_2}}\right)}{6t \ln\left(\frac{P_{t_1}}{P_{t_2}}\right)}, \quad (1)$$

где P_{t_1} , P_{t_2} – текущие давления в пробоотборниках со штыбом соответственно фракций R_1 и R_2 ; P_{k_2} – давление в пробоотборнике с углем фракции R_2 после окончания времени измерения; t – текущее время измерения.

$$D_{\text{eff}} = a \exp\left(-\frac{t}{b}\right) + d \exp\left(\frac{t}{c}\right) + k, \quad (2)$$

где a , d – соответственно фильтрационная и диффузионная составляющие эффективной диффузии метана из угольного пласта, m^3/s ; b , c – времена релаксации, s .

Отсюда определяется критерий выбороопасности

$$B = \frac{b}{c}, \quad (3)$$

увеличение которого свыше 0.5 сигнализирует о нарастании выбороопасности угольного пласта.

Блок-схема прибора представлена на рис. 2. Пробоотборники 1–4 предназначены для размещения образцов штыба угольных пластов фракций R_1 и R_2 .

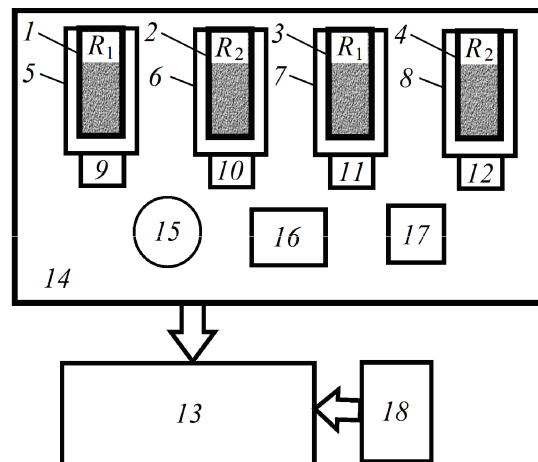


Рис. 2. Блок-схема прибора: 1–4 – пробоотборники; 5–8 – кюветы; 9–12 – датчики давления; 13 – микроконтроллер; 14 – лицевая панель; 15 – кнопки управления; 16 – дисплей; 17 – коммуникационный порт; 18 – блок питания; R_1 , R_2 – образцы штыба двух фракций

Пробоотборники установлены в герметичных кюветах 5–8, которые в зависимости от модификации прибора оборудованы датчиками давления 9–12 типа MPX5010D (при 10 кПа) или MPX5050D (при 50 кПа). Две пары кювет 5, 6 и 7, 8 и пробоотборников 1, 2 и 3, 4 позволяют исследовать одновременно две пробы штыба, взятого из разных мест угольного пласта. На лицевой панели 14 (рис. 3) прибора размещены кюветы с пробоотборниками, кнопки управления 15, разъем подключения к порту USB 17 и двухстрочный 20-символьный жидкокристаллический индикатор 16.

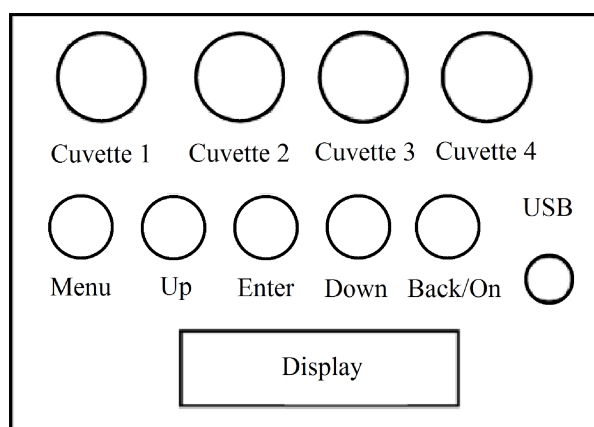


Рис. 3. Лицевая панель

Управление прибором, сбор данных и их математическая обработка осуществляются микроконтроллером 13 типа STM32L152T6, для которого разработана программа прошивки ShIMM Embedded (меню управления прибором изображено на рис. 4). Питание прибора осуществляется от источника 18, который выполнен во взрывобезопасном исполнении на основе литий-ионного аккумулятора.

Прибор работает следующим образом. С помощью меню выбирается режим «Кюветы 1, 2» и «Начать подготовку». После бурения угольного пласта с помощью сит отсеиваются образцы штыба фракций R_1 и R_2 . Затем в пробоотборники 1 и 2 помещаются образцы штыба фракций соответственно R_1 и R_2 . Пробоотборник 1 размещается в герметичной кювете 5, оборудованной датчиком давления 9, а пробоотборник 2 – в герметичной кювете 6, оборудованной датчиком 10. Кнопками 15 на панели управления 14 запускается процесс измерения и отсчет времени, который составляет от 900 до 1800 с для разных условий измерения. Из образцов штыба фракций R_1 и R_2 выделяется газ, что приводит к постепенному во времени повышению давления в герметичных кюветах 5 и 6. Отсчеты давления P_{1_i} и P_{2_i} , полученные с помощью датчиков давления 9 и 10, с периодичностью 30–60 с заносятся в память микроконтроллера 13 и отображаются на индикаторе 16. По окончании отсчета времени микроконтроллер обрабатывает отсчеты давления P_{1_i} и P_{2_i} , вычисляет эффективную диффузию газа в угле $D(t)$ и коэффициент B (который характеризует степень выбросоопасности пласта), заносит их в память и выводит на индикатор. Для анализа и последующей обработки данные из памяти могут быть считаны и сохранены на внешнем устройстве при подключении прибора через коммуникационный USB-порт 17 к компьютеру с помощью программы ShIMM. Аналогично проводятся измерения для кювет 3, 4 или для всех четырех кювет 1–4.

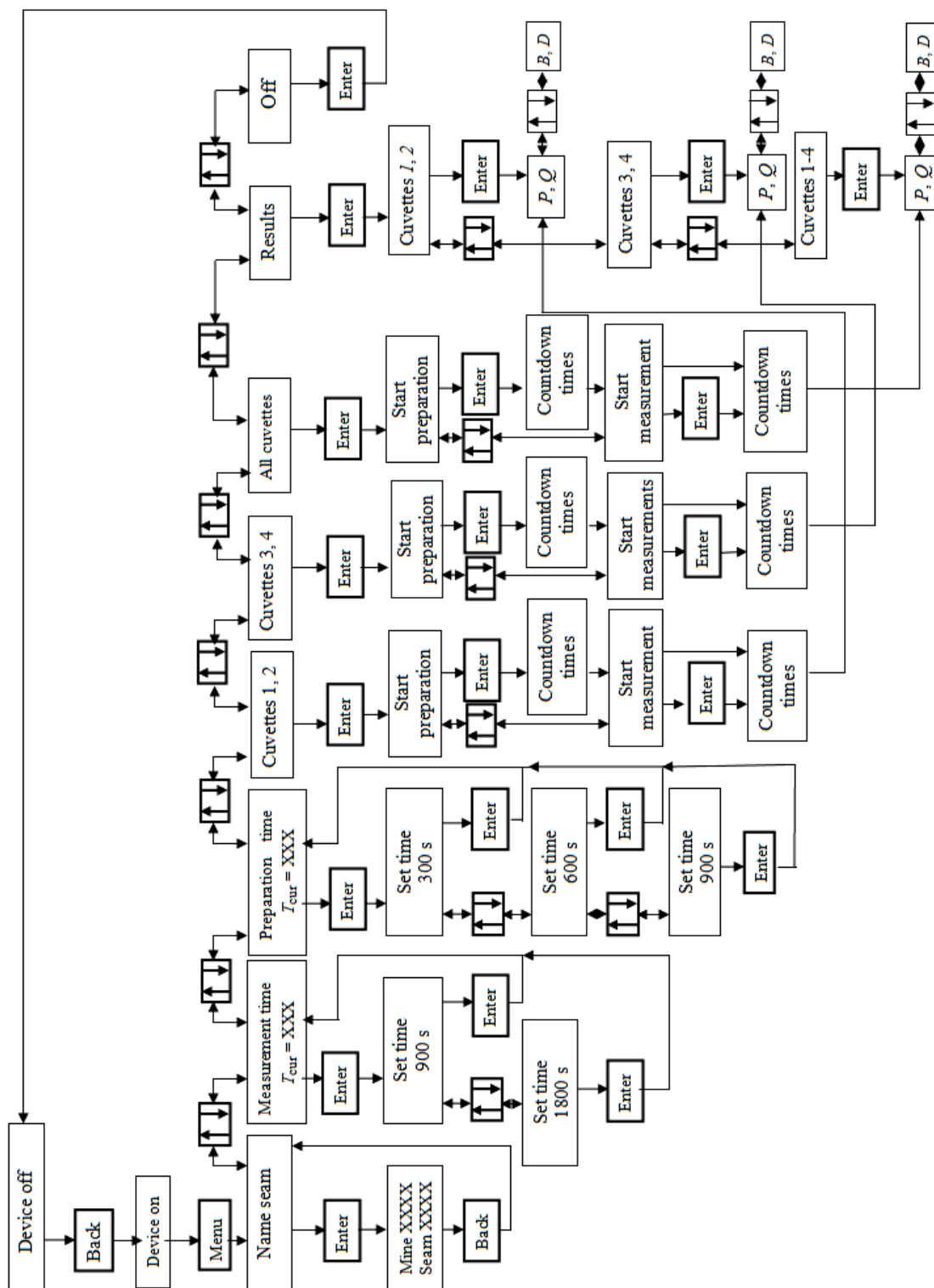


Рис. 4. Меню управления

Программа ShIMM работает под операционной системой Windows и обеспечивает связь прибора с компьютером через USB-порт. Она позволяет записать в память прибора и считать:

- наименование шахты;
- наименование пласта;
- паспорт пласта, полученный в лаборатории;
- поправки смещения датчиков давления;
- данные об измерении давления в кюветах 1–4;
- данные математической обработки: коэффициент диффузии D и критерий выбросоопасности угольного пласта B .

Краткие технические характеристики прибора:

- количество измерительных кювет.....4
- диапазон измеряемых давлений, кПа.....0–10, 0–50
- время:
 - подготовки, s.....300, 600, 900
 - измерения, s.....900, 1800
 - непрерывной работы, h.....не менее 6
- габаритные размеры, мм.....240×200×200
- масса, kg.....не более 4
- измеряемые и индицируемые параметры с сохранением в памяти:
 - P – давление метана в пласте;
 - Q – удельный объем метана в пласте;
 - D – коэффициент диффузии;
 - B – критерий выбросоопасности угольного пласта.

Разработанный прибор позволяет провести экспресс-анализ состояния призабойной части угольного пласта и спрогнозировать его выбросоопасность, что повышает безопасность труда горнорабочих.

1. Г.П. Стариков, В.М. Юрченко, Т.Н. Мельник, О.Г. Худoley, А.В. Кравченко, ФТВД 29, № 3, 122 (2019).
2. Пат.105584 Україна, МПК Е 21 F 5/00. Пристрій для вимірювання ефективної дифузії газу у вугіллі, В.Г. Грінюв, Г.П. Старіков, В.В. Завражин, Ю.А. Службін, О.Г. Худолій, Е.П. Навка, № а201307863; Заявник і патентовласник ІФГП НАН України; Заявл. 29.03.13; Опубл. 26.05.14; Бюл. № 10.
3. <https://ru.scribd.com/doc/299748989/C-Program-for-Curve-Fitting>.

G.P. Starikov, Yu.A. Sluzhbin, O.V. Shazhko

METHANE MASS TRANSFER METER FOR MINING

A portable device has been developed that makes it possible to predict the degree of outburst hazard of a coal seam that is based on the analysis of the diffusion and mass transfer coefficients of methane.

Keywords: methane, coal seam, diffusion coefficient, outburst hazard

Fig. 1. Device appearance

Fig. 2. Block diagram of the device: *1–4* – samplers; *5–8* – cuvettes; *9–12* – pressure sensors; *13* – microcontroller; *14* – front panel; *15* – control buttons; *16* – display; *17* – communication port; *18* – source of power; R_1, R_2 – samples of the spear of two fractions

Fig. 3. Front panel

Fig. 4. Control menu