

**ПОРТАТИВНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ  
БЕЗОПАСНОСТИ БУРОВЫХ И ПРОХОДЧЕСКИХ  
РАБОТ НА УГЛЕМЕТАНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ**

**Семинар № 23**

---

**Э**ффективному решению проблем охраны труда, безопасности и экономичности подземной разработки газоносных угольных месторождений по-прежнему мешают сложность, недостаточная надежность и своевременность прогноза выбросоопасности призабойной зоны и газовыделения в горные выработки и скважины. Одна из причин этого – отсутствие простых, надежных и дешевых экспресс-методов и устройств для регулярной оценки газокинетических свойств угля в забое. В значительной степени из-за этого в угольных шахтах выработки и скважины первой очереди проходки, буровые и взрывные технологические операции пока наиболее опасны по интенсивным проявлениям взрывчатых газов, а половину геологических нарушений, в которых имеют место опасные выделения метана и загазования выработок, обнаруживают лишь при проходке.

Улучшить ситуацию можно за счет разработки и внедрения новых портативных устройств для простой регулярной экспресс-оценки в забоях газокинетических свойств угля, особенно при буровых работах, позволяющих прогнозировать выбросоопасность призабойной зоны и искать перспективные участки для добычи шахтного метана в целях повышения

безопасности и эффективности дегазации угольных пластов.

Для научного обоснования более эффективных конструкций и принципов действия таких многофункциональных устройств, пригодных для эффективного использования в любом забое без больших дополнительных финансовых и трудовых затрат и изменений технологии автор выполнил комплекс фундаментальных научных исследований в ИПКОН РАН, Лидском университете Великобритании и ТГПУ им. Л. Н. Толстого, включающий:

- лабораторное изучение кинетики сорбции и десорбции в системе иско-паемый уголь – метан одновременно с возникающими при этом тепловыми эффектами с помощью двух уникальных комплексов научного оборудования в ИПКОН РАН (соединенные вместе низкотемпературный микрокалориметр Кальве с приставкой высокого давления и прибор «Сорбтомат», приспособленные для высокоточного одновременного замера кинетики сорбции и десорбции метана углем и вызванных ими тепловых эффектов) и в Лидском университете Великобритании (соединенные с компьютером и с кондиционером терmostатированные сорбционная установка и модели в натуральную величину подготовительной выработки и скважины с термопарами, введенными в сорбцион-

**Экспериментальные данные для угля пласта  $K_3^B$  Бераль шахты “Перевальская”**

$\Delta P$	Средняя величина $\tau$ , с	Доля метана, сорбированная за время $\tau$	Средние величины из экспериментов	
			теплота сорбции метана при $30^\circ\text{C}$ и $0,1 \text{ МПа}$ , кДж/моль	теплота десорбции метана с $P = 4,0 \text{ МПа}$ при $0,1 \text{ МПа}$ и $30^\circ\text{C}$ , кДж/моль
32-28	1090	0,628	21	21
27-24	2610	0,659	23	-
23-19	4000	0,632	22	22
18-14	4560	0,635	21	-
13-9	7170	0,627	22	21

ные капсулы и в образцы угля), в которых для повышения точности замеров количества тепла и газа при десорбции автор использовал новые технические решения;

- натурные и аналитические исследования, обработку собственных и опубликованных в литературе экспериментов по признанным в мире методикам.

В результате экспериментально доказана возможность повысить практическую ценность и оперативность изучения газодинамических свойств образцов угля и горных пород из зон разной нарушенности с возможностью прогноза динамики десорбции метана из них на длительный период времени за счет использования предложенного автором нового диффузационного параметра  $\tau$  [1-2], хорошо согласующегося с результатами ряда российских и зарубежных методов:

$$\tau = \pi r_o^2 / 36D, \text{ с}, \quad (1)$$

где  $r_o$  – средний радиус микропористых частиц;  $D$  – коэффициент диффузии.

Диффузионный параметр  $\tau$  можно вычислять по углу наклона  $\alpha$  или  $\beta$  прямолинейного начального участка сорбционно-кинетической или десорбционно-кинетической кривой в координатах  $[t^{0.5}, a_t/a_0]$ , как показано на рис. 1:

$$\tau = 1 / \operatorname{tg}^2 \alpha, \quad (2)$$

$$\text{или } \tau = 1 / \operatorname{tg}^2 \beta, \quad (3)$$

где  $a_t$  – количество газа, сорбированного или десорбированного к данному моменту времени;  $a_0$  – количество газа, сорбированное или десорбированное до установления сорбционного равновесия при конечном давлении газа.

Из таблицы можно сделать следующие выводы: - величины диффузационного параметра  $\tau$  различаются для образцов из ненарушенных и выбросоопасных зон в несколько раз, что доказано для многих угольных пластов России, Украины и Великобритании [1-3];

- теплоты сорбции и десорбции метана углем можно принимать постоянными при любой нарушенности в пределах соответствующего шахтного пласта.

Доказана также возможность, используя диффузионный параметр  $\tau$ , повысить эффективность использования наиболее широко применяемого в зарубежных странах, например в США, Великобритании и Австралии, эмпирического уравнения Айрея

$$V_t = A \{1 - \exp[-(t/t_0)^n]\}, \text{ мл/г}; \quad (4)$$

где  $V_t$  – объем газа, выделившегося из единицы массы угля к моменту времени  $t$ , мл/г;  $A$  – количество метана, которое может десорбироваться из образца до сорбционного равновесия, мл/г;  $t_0$  – время десорбции 63% от

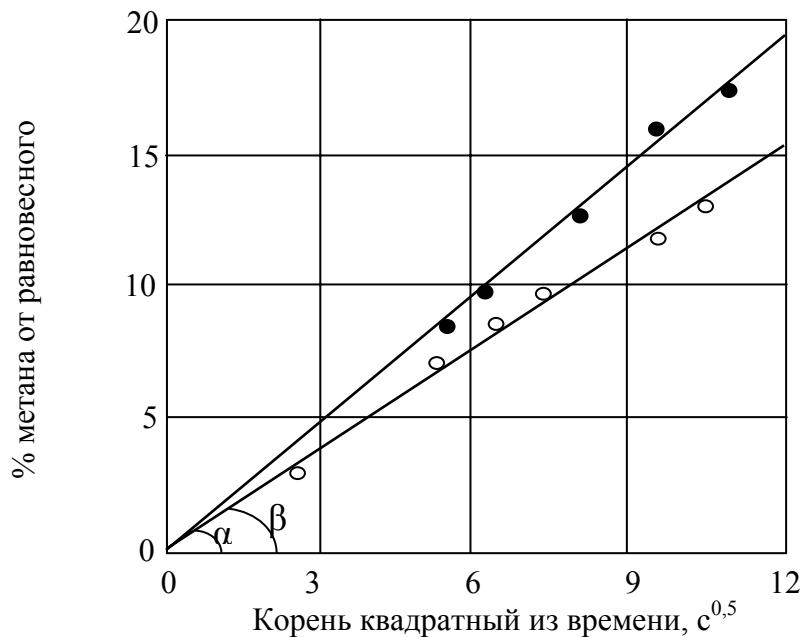


Рис. 1

величины А, мин; n - коэффициент, зависящий от трещиноватости образца ( $0 < n < 1$ ).

Таким образом, научно обоснована возможность:

- использовать более информативный диффузионный параметр  $\tau$ , хорошо согласующийся с данными о тектонической нарушенности образцов и динамике десорбции, получаемыми другими методами, и имеющий ряд преимуществ (1 - является количественной характеристикой, быстро и просто вычисляемой в лаборатории и забое непосредственно из экспериментов или через условный показатель начальной скорости газоотдачи  $\Delta P$ , константы Айрея  $t_0$  и  $n$ ; 2 - показывает долю газа, сорбированную или десорбированную за время  $\tau$ ; 3 - позволяет быстро прогнозировать десорбцию из угля на длительное время;

4 - позволяет определять коэффициент диффузии D метана в угле);

- быстрее и проще выявлять в забоях зоны геологических нарушений, оценивать выбросоопасность и перспективность участков и скважин для добычи метана за счет преимуществ диффузионного параметра  $\tau$ , что позволяет уменьшить экологический ущерб от выделения в атмосферу метана за счет повышения степени его извлечения из угольных пластов дегазационными скважинами и затем энергетического использования

Для эффективного применения этого метода в забоях шахт надо знать количество десорбированного углем газа до герметизации образцов, что особенно трудно обеспечить в нарушенных зонах, где значительная часть газа успевает десорбироваться. В результате этого традиционные методы

не решают в нарушенных зонах проблем:

- точного определения количества газа, десорбированного до герметизации пробы;
- герметизации шпурков в связи с их сильным разбуриванием;
- прогноза всех внезапных выбросов угля и газа при буровых работах.

Поэтому было предложено оценивать количество десорбированного углем метана по величине снижения его температуры в результате десорбции. Для доказательства такой возможности автором выполнены экспериментальные и аналитические исследования процесса теплообмена в системе «уголь – метан» при десорбции и сорбции, в том числе:

- экспериментально определены теплоты сорбции и десорбции метана углем с  $V_f$  от 9 % до 30 % при давлениях от 0,02 МПа до 8,1 МПа и температурах 25, 30, 35 и 40  $^{\circ}\text{C}$  с одновременным замером динамики тепловыделения и теплопоглощения;
- экспериментально изучено с компьютерной записью показаний термопар на поверхности и внутри образцов угля разных форм и размеров изменение температуры угля при сорбции и десорбции метана и теплообмене с окружающей средой при разных перепадах температур и скоростях воздуха (получены 2134 графика);
- аналитически исследованы динамика распределения температуры в частицах угля при десорбции из него метана и теплообмен призабойной зоны пласта при десорбции из него метана с вмещающими породами при разной влажности угля;
- исследована точность экспериментальных термокинетических кривых при разных методиках экспериментов и возможность повышения их информативности, включая опреде-

ление дифференциальных теплот сорбции и десорбции метана.

В результате данного комплекса исследований доказаны:

- возможность принимать при инженерных расчетах теплоты десорбции метана углем любой нарушенности постоянными для шахтопласта после их экспериментального определения для него (при  $V_f$  от 9 % до 30 % и давлениях до 8,0 МПа), то есть считать связь между количеством десорбированного метана и снижением температуры угля линейной в случаях, когда теплообменом угля с окружающей средой можно пренебречь;
- быстрое и значительное изменение температуры в тонком поверхностном слое угля и медленное изменение его температуры на большей глубине;
- возможность повысить точность экспресс-прогноза в забоях выбросоопасности, десорбции метана, метанообильности и перспективности участка для добычи метана за счет определения снижения температуры угля в результате легкоплавкости метана.

Таким образом, впервые экспериментально доказана возможность точнее определять количество десорбированного углем метана по величине охлаждения угля, что расширяет возможности для создания более точных приборов для угольных шахт.

Это позволило научно обосновать и разработать новые комплексные методы и портативные устройства для более быстрого и надежного получения количественных характеристик газокинетических свойств угля в забое, в том числе:

- способ определения выбросоопасных зон и газоносности угольных пластов в призабойной зоне [4], награжденный золотыми медалями Всемирного салона изобретений, научных исследований и промышленных инноваций.

ций «Брюссель-Эврика» и «Евро-Интеллект Восток-Запад», и способ определения выбросоопасных зон угольного пласта [5], прошедшие промышленные испытания на шахте «Перевальская» ПО «Ворошиловград-уголь»;

**Рис. 2. Портативное многофункциональное устройство**

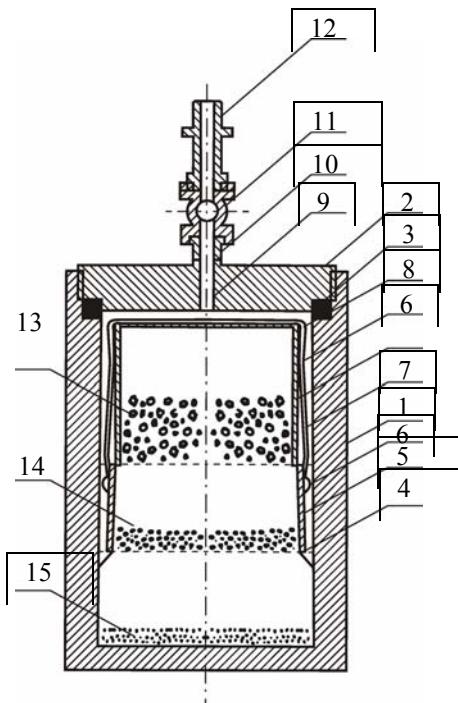
- портативные многофункциональные устройства для отбора и исследования газоносных образцов [6-9], награжденные серебряной медалью Всемирного салона изобретений, научных исследований и промышленных инноваций «Брюссель-Эврика» и золотой медалью «Евро-Интеллект Восток-Запад».

На рис. 2 показана одна из конструкций таких портативных устройств для замера в забое динамики десорбции метана буровым штыбом или угольной мелочью и изменения их температуры в результате десорбции, а также для их подготовки для лабораторных исследований, на рис. 3 – основные возможные функции таких устройств.

На рис. 2 использованы следующие условные обозначения: 1 - корпус, 2 - крышка, 3 - средства герметизации, 4 - средства для крепления, 5 и 5а - набор сит, 6 - проушины, 7 - средства крепления, 8 - крышка, 9 - канал, 10 - патрубок, 11 - кран, 12 - разъемное соединение, 13 - отобранная проба угля, 14 - просеянная фракция, 15 - угольная пыль.

Каждое из разработанных портативных устройств состоит из нескольких частей:

- во-первых, корпуса с крышкой, в котором при необходимости могут размещаться средства для рассева пробы по фракциям (что происходит



в процессе доставки отобранной пробы в лабораторию);

- во-вторых, средств быстрой и надежной герметизации пробы, функции которых в большинстве случаев может выполнять резиновый шарик, надетый перед отбором пробы на корпус снаружи (это позволяет быстро загерметизировать пробу в забое и сразу оценивать интенсивность десорбции газа из нее);

- в-третьих, измерительной части, включающей портативные средства для точного замера динамики газовыделения и средства для замера температуры угля;

- в-четвертых, наружного защитного корпуса для защиты от механических повреждений используемого для герметизации резинового шарика и других элементов устройства и обеспечения расширения шарика при десорбции газа из пробы в сторону отверстия в корпусе, что позволяет



наиболее просто, быстро и точно замерять количества десорбированного газа в забое и в других условиях.

Возможные функции таких портативных устройств показаны на рис. 3.

Поскольку рассев пробы по фракциям нужен не всегда, корпус и все устройство могут быть маленькими, простыми, легкими и дешевыми (то есть «карманного типа») и быстро и точно измерять объем десорбированного газа  $V_t$ , а затем использовать  $V_t$  для быстрого вычисления диффузационного параметра  $\tau$  по формуле (3), как показано на рис. 1.

В частности, в лаборатории и при промышленных испытаниях на шахте «Перевальская» доказана работоспособность не только показанной на рис. 2 модификации портативного устройства, но и наиболее простой и компактной модификации такого устройства, в котором корпус представляет собой емкость малого объема, полностью заполняемую пробой. Размещение этого корпуса в резиновом шарике позволяет защитить пробу от

окисления воздухом и повысить точность замера десорбции.

Разработана и проверена на практике в лабораторных и шахтных условиях методика применения таких простых портативных многофункциональных устройств не только для оценки газокинетических свойств образцов и их защиты от окисления воздухом, но и для оценки газоносности образцов угля в забое даже без их доставки в лабораторию. Идея этой методики заключается в том, что герметизированные резиновым шариком пробы не контактируют с воздухом, а объем десорбированного газа можно измерять непосредственно в забое, в том числе и длительное время. Методика применения таких устройств позволяет быстрее и точнее определять в забое кинетику десорбции газа углем замером и сравнением с величинами, вычисленными по снижению температуры угля при десорбции, с последующим использованием для вычисления диффузационного

параметра  $\tau$  наибольших из этих значений.

Таким образом, впервые разработаны на уровне изобретений, изготовлены и испытаны в лаборатории и в забое простые, удобные и дешевые портативные многофункциональные устройства «карманного типа» для отбора и исследования газоносных образцов и методика их применения в забое, позволяющие:

- значительно снизить трудоемкость и продолжительность исследований образцов угля и углесодержащих пород, а также повысить производительность труда и оперативность получения результатов опытов, в том числе и в любых забоях;

- устранить необходимость отсева нужной для исследования фракции угля, многократно снизить вес отбираемой пробы угля и обеспечить максимальное сохранение ее свойств, удобство ее доставки в лабораторию и хранения;

- быстрее, проще и надежнее количественно оценивать газокинетические характеристики угля и пород, выбросоопасность и газоносность призабойной зоны, перспективность участков и скважин для добычи шахтного метана, что позволит повысить экологичность и безопасность разработки газоносных угольных месторождений;

- обеспечить постоянный контроль за газодинамическим состоянием призабойной зоны пласта и ее нарушенностью, повысить безопасность буровых и других работ без больших дополнительных финансовых и трудовых затрат за счет уменьшения проникновения в выбросоопасные зоны и более быстро-го и точного выявления зон геологических нарушений, а также искать дешевые природные сорбенты.

Промышленные испытания показали, что разработанные способы, методики и портативные устройства по-

зволяют надежнее обеспечить при бурении экспресс-оценку выбросоопасности и эффективности добычи метана, то есть комплексно решать проблемы охраны труда и более экономичного освоения угле-метановых месторождений [10-11].

Внедрение описанных простых, дешевых и удобных портативных устройств нового принципа действия «карманного типа» для оценки в забое за несколько минут выбросоопасности призабойной зоны пласта и ее перспективности для добычи шахтного метана позволит упростить и удешевить комплексное решение ряда проблем охраны труда, рудничной вентиляции, повышения эффективности добычи шахтного метана и т. д.

Таким образом, автором экспериментально доказано, что предлагаемые запатентованные методы и портативные устройства не только хорошо согласуются с рядом широко применяемых в России и многих зарубежных странах нормативных методов оценки выбросоопасности по кинетике сорбции или десорбции газа образцами угля на основе определения условного показателя начальной скорости газоотдачи  $\Delta P$  [12] и констант десорбции Айрея [13], так как используют одинаковые с ними экспериментальные данные для кинетики сорбции или десорбции, но и позволяют повысить их практическую ценность и оперативность, резко расширить область их применения при подземной разработке газоносных угольных месторождений. Такими простыми портативными устройствами можно снабдить шахтеров в забоях, особенно при буровых работах, для обеспечения регулярного быстрого и надежного мониторинга газодинамических свойств угля в подготовительных и очистных забоях

и в скважинах без больших дополнительных финансовых и трудовых затрат и изменений технологии горных работ. Это позволит надежнее предотвращать газодинамические явления и загазования выработок, точнее

прогнозировать возможную эффективность добычи метана каждой скважиной, при бурении которой будут применяться описанные выше портативные многофункциональные устройства и методы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Радченко С.А. Время диффузационной релаксации как характеристика нарушенности угля. – В сб.: Основные вопросы комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: ИПКОН АН СССР, 1981, с. 113-118.
2. Эттингер И.Л., Радченко С.А. Время релаксации как характеристика метанопреноса в углях. – Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых, 1988, № 4, с. 97-101.
3. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Methane emission from coal and associated strata samples. - International Journal of Mining and Geological Engineering, 1989, № 7, с. 101-121.
4. Матвиенко Н.Г., Радченко С.А. Способ определения выбросоопасных зон и газоносности угольных пластов в призабойной зоне. - Патент России № 2019706, МКИ Е 21 F 5/00. 15.09.1994, Б. И. № 17.
5. Способ определения выбросоопасных зон угольного пласта / Эттингер И.Л., Радченко С.А., Горбунов И.А., Дорофеев Д.И., Шульман Н.В., Ковалева И. Б. – А. С. № 1096375 СССР. МКИ Е 21 5/00. 8.02.1984, Б. И. № 21.
6. Матвиенко Н.Г., Радченко С.А., Никитин Ю.В. Устройство для отбора и исследования газоносных образцов. Патент России № 2034157, МКИ Е 21 F 5/00. 30.04.1995, Б. И. № 12.
7. Матвиенко Н.Г., Радченко С.А., Никитин Ю.В. Устройство для отбора и исследо-  
дования сыпучего груза. Патент России № 2016391, МКИ G 01 N 1/20. 15.07.1994, Б. И. № 13.
8. Radchenko S.A. New methods and devices for effective sampling, preparation and investigation of coal samples. - Fuel, 1993, Volume 72, No. 5, с. 721-722.
9. Матвиенко Н.Г., Радченко С.А., Никитин Ю.В. Методы и средства для выявления природных сорбентов при горных геологоразведочных работах и экспресс-контроля их качества. – Материалы научно-техн. конф. «Экологические проблемы горного производства». – М.: Информационно-аналитический центр горных наук, 1993, с. 118-119.
10. Эттингер И.Л., Маевский В.С., Радченко С.А. Контроль газодинамического состояния призабойной зоны пласта. – Уголь, 1983, № 5, с. 8-9.
11. Повышенное метановыделение в выбросоопасных зонах пласта – причина снижения его температуры в процессе разработки / Эттингер И.Л., Радченко С.А., Горбунов И.А. и др. – Уголь Украины, 1981, № 10, с. 39-40.
12. Эттингер И.Л. Внезапные выбросы угля и газа и структура угля. – М.: Наука, 1969. –160 с.
13. Airey E.M. Gas emission from broken coal. An experimental and theoretical investigation // International Journal of Rock Mechanic and Mining Science. - 1968, Vol. 5, No. 6, pp. 475-494. ГИАБ

### Коротко об авторе

Радченко С.А. – кандидат технических наук, машиноведения и безопасности жизнедеятельности Тульского государственного педагогического университета им. Л.Н. Толстого.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 23 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. С.З. Шкундин.

