

С.А. Радченко, Н.Г. Матвиенко**МАЛОЗАТРАТНЫЙ ЭКСПРЕСС-МЕТОД
ОЦЕНКИ ОПАСНОСТИ ПО ГАЗОВОМУ ФАКТОРУ
ПРИ БУРОВЫХ И ПРОХОДЧЕСКИХ РАБОТАХ
В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

Обычно газодинамические явления и повышенное метановыделение в угольных шахтах происходят в зонах геологических нарушений, поэтому и многие нормативные методы прогноза выбросоопасности во всем мире основаны на поиске тектонически нарушенного угля в угольных пластах. Но многие из этих методов уже почти не используются при большой скорости проходческих, буровых и очистных работ, так как для получения результатов необходимо много времени (особенно если образцы угля необходимо доставлять в лабораторию для исследования). Следовательно, для улучшения безопасности в шахтах необходимо разрабатывать и использовать быстрые и простые методы и портативные приборы для надежного прогноза нарушенности угля, которые шахтеры могут использовать без снижения производительности труда при проходческих, буровых и очистных работы. Такой малозатратный экспресс-метод оценки опасности по газовому фактору и очень простые и дешевые десорбметры нового принципа действия разработаны на основе исследований десорбции и сорбции метана образцами углей в уникальном экспериментальном сорбционно-калориметрическом комплексе ИПКОН РАН и при разработке газоносных угольных пластов. Они позволяют всем шахтерам быстро повысить безопасность работ при проходке и бурении на основе более быстрого, простого и надежного прогноза нарушенности угля в призабойной зоне пласта даже без больших затрат денег и труда. Их использование позволит шахтерам сразу увидеть нарушенный уголь на свежес обнаженной поверхности забоя или в буровом штыбе по его более низкой температуре с помощью тепловизора или инфракрасного термометра (пирометра), а затем быстро и просто определить в забое газодинамические характеристики и остаточную газоносность угля таким десорбметром. Это может быстро, просто и дешево повысить безопасность в метановых шахтах.

Ключевые слова: безопасность, угольные пласты, метановыделение, геологическое нарушение, газодинамические явления, методы прогноза, температура угля, десорбметр.

Проблема предотвращения различных газодинамических явлений и взрывов метана при подземной разработке газоносных угольных пластов очень актуальна во всем мире, так как при увеличении глубины и скорости разработки метановыделение и опасность внезапных выбросов растут [1–6].

Как показал анализ [2–3], до сих пор актуальны следующие проблемы:

- в угольных шахтах выработки и скважины первой очереди проходки,

а также буровые и взрывные работы наиболее опасны по газовому фактору;

- половину геологических нарушений, в которых происходят опасные выделения метана и загазирование выработок, обнаруживают при проходке;

- прогноз интенсивности газовыделения в горные выработки неточен, и прежде всего в зонах геологических нарушений, при пересечении которых метанообильность выработок может существенно увеличиваться (в 1,5–4 ра-

за и более), что снижает безопасность и может создавать аварийные ситуации;

- неожиданное вскрытие выработками нарушенных зон может вызывать различные интенсивные газопроявления, в том числе весьма скоротечные и не всегда предсказуемые, что повышает угрозу взрыва метана;

- при бурении скважин и при наличии пробуренных происходят внезапные выбросы угля и газа, причем в подготовительных выработках выбросов намного больше, чем в очистных на пологих и крутых пластах.

Проблема повышения быстроты и точности прогноза газовыделения из угля и углесодержащих горных пород в призабойной зоне – одна из самых актуальных для всех метанообильных шахт России и других стран. Без ее эффективного решения становится все труднее обеспечивать безопасность и экономичность подземной разработки газоносных угольных пластов [1–6].

В мире давно применяют различные качественные и количественные характеристики динамики газовыделения из образцов угля, углесодержащих горных пород и призабойной зоны, определяемые в шахтах и лабораториях [1–6]. Однако эти характеристики имеют ряд недостатков, поэтому использование большинства из них в шахтах уменьшается, особенно при увеличении темпов проходки и объемов очистных работ [2, 3].

В [1–3] показано, что непосредственный показатель выбросоопасности угольного пласта – степень нарушения угля. Такие показатели, как начальная скорость газовыделения, условный показатель начальной скорости газоотдачи ΔP , скорость сорбции йода, разрушаемость керна выход штыба, крепость, и т.п., лишь опосредованно характеризуют степень нарушения угля. Несовершенство методик для их определения снижает надежность прогноза выбросоопасности

угольных пластов, поэтому нужны более надежные способы непосредственной оценки степени нарушения пласта.

До настоящего времени во всем мире газокинетические свойства угля в шахтах и лабораториях экспериментально определяли с помощью дорогих десорбметров большого размера и веса, которые имеют довольно сложное устройство. Поэтому ими пока пользуются специально обученные люди.

Из-за этого до сих пор крайне сложно постоянно изучать в каждом подготовительном и тем более в очистном забое газовыделение из большого количества проб угольной мелочи и бурового штыба, даже обеспечивая каждый забой одним таким десорбметром (особенно если для каждого эксперимента надо собрать много угольной мелочи или бурового штыба). Поэтому зачастую в метанообильных шахтах ряда стран такими сложными десорбметрами проводили весьма малое количество опытов, а получаемые в итоге результаты применяли лишь для прогноза выбросоопасности [2–6].

Приведенные в [2, 4–6] результаты исследований газокинетических свойств угля по простиранию и мощности многих угольных пластов, выполненных с использованием экспериментальных данных российских и зарубежных ученых, показали большую изменчивость скорости газоотдачи угля по простиранию и мощности большинства исследованных пластов даже на расстоянии в десятки сантиметров. Это доказывает, что в современных нормативных методах прогноза выбросоопасности интервал отбора образцов угля (бурового штыба) и замера показателей нарушения призабойной зоны пласта часто слишком большой для того, чтобы своевременно выявлять угли нарушенной структуры и обеспечивать минимальное проникновение в выбросоопас-

ную зону. Причина этого – отсутствие научно обоснованных методов и технических средств, минимизирующих проникновение в опасную зону за счет быстрого и доступного определения ее границ без изменения технологии буровых работ и без существенного замедления их выполнения.

Поэтому нами научно обоснованы и разработаны новые экспресс-методы и портативные устройства нового принципа действия, позволяющие быстро и без больших затрат труда и изменений технологии работ [2, 3, 7]:

- получать в забоях количественные характеристики газокинетических свойств угля, его нарушенности и газоносности в призабойной зоне и сразу использовать их для повышения безопасности работ при проходке и бурении работ при меньшем проникновении бурового инструмента в опасную зону;

- дать шахтерам возможность быстро и просто визуально оценивать в забоях опасность структуры угля и за счет этого эффективнее применять ряд нормативных методов прогноза и снижения выбороопасности;

- оценивать перспективность каждой скважины для дегазации пласта;

- улучшить условия для изучения газоносных пластов научными организациями за счет постоянного сбора комплекса информации о них.

Исследования ИПКОН РАН [2, 8–11] подтвердили целесообразность замера температуры угля в забоях для контроля за газовыделением из него и прогноза выбороопасности пласта. Но пока это мало применялось в шахтах, хотя изменение температуры угля изучали многие ученые [2, 8–11].

По-видимому, подобное можно объяснить следующими причинами:

- температура поверхности забоя или бурового штыба с разных интервалов бурения зависит от ряда факторов, что позволяет применять ве-

личину охлаждения угля в забое лишь для предварительной оценки интенсивности газовыделения, результаты которой необходимо затем проверять нормативными методами прогноза выбороопасности;

- интерпретация изображений тепловизоров была неоднозначной, что сильно мешало применять данный метод для прогноза выбороопасности в очистных забоях шахт;

- замеры температуры стенок шпуров или скважин на интервалах бурения и бурового штыба термометрами недостаточно технологичны.

Разработанные нами методы быстрой оценки газовыделения из угля и пород, а также уникальные по портативности, удобству и малой стоимости десорбометры нового принципа действия и ноу-хау [2, 3, 7] позволяют легко и быстро устранить эти недостатки на основе нового комплексного подхода.

Во-первых, предлагается измерять температуру свежееобнаженной поверхности забоя и бурового штыба тепловизорами, обеспечивающими автоматическое распознавание и визуализацию критических температур непосредственно на дисплее. Например, тепловизор Testo 875–2i массой 900 г работает от батареек или аккумулятора при температуре от -15 до $+100$ °C, имеет температурную чувствительность $0,05$ °C и одновременно сохраняет как термограмму, так и реальный цифровой снимок. Ввод в него критического значения температуры позволит без затрат времени на анализ изображений и без специальных знаний с любого расстояния автоматически распознать на дисплее тепловизора опасный по газовому фактору уголь, который сильнее охладился в результате большего метановыделения из него.

Для экономии средств можно использовать также портативные инфракрасные термометры (пирометры),

которые в десятки раз дешевле тепловизоров и дистанционно измеряют, показывают на дисплее и фиксируют в электронном виде температуру в любой точке. Но в этом случае температуру забоя и штыба необходимо будет измерять в разных точках.

Во-вторых, при замере температуры свежееобнаженной поверхности забоя и бурового штыба надо отбирать пробы угольной мелочи и бурового штыба в десорбометры нового принципа действия, позволяющие получать достоверную информацию об их газокинетических свойствах и остаточной газоносности (за счет нового способа быстрой оценки потенциальной выбросоопасности и газоносности угля в призабойной зоне с учетом ноу-хау), постоянно видеть, измерять и учитывать объем выделившегося газа.

Эти десорбометры нового принципа действия настолько портативны, что даже в небольшом чемоданчике можно переносить десятки таких десорбометров вместе со средствами для их размещения в забое в определенном порядке для визуальной оценки и измерения газовыделения из проб, применение которых обеспечит максимальную быстроту, наглядность и практическую ценность результатов опытов. Например, установка таких десорбометров в специальную подставку в порядке отбора проб угольной мелочи или бурового штыба позволит шахтерам сразу увидеть изменения газокинетических свойств угля при подвигании забоя любой выработки или скважины и за счет этого быстрее обнаружить зоны повышенной газоотдачи.

К важнейшим преимуществам нового вида десорбометров относятся:

- простота их устройства, а также использования в забоях шахтерами;
- изучение во много раз меньших проб, чем в известных десорбометрах (может быть достаточно даже горсти

угольной мелочи или бурового штыба);

- давление и температура при десорбции такие же, как в выработке;
- малая стоимость, что позволит массово использовать их в шахтах;
- новый способ герметизации проб и визуализации результатов опытов, который делает их понятными и полезными для всех работающих в забое;
- возможность рассева проб на фракции в десорбометре при переноске.

Используя комплект из многих таких десорбометров [2, 3], шахтеры смогут за 3 минуты визуально оценить в забое динамику метановыделения из проб штыба, собираемых, прежде всего, со всех интервалов бурения, где температура штыба ниже нормы, а остаточную газоносность этих проб в два этапа – за 15 минут и до сорбционного равновесия. Новый способ герметизации проб, визуализации и замера объема выделяющегося газа позволяет доставлять в лабораторию лишь контрольные пробы бурового штыба и угольной мелочи, а большинство проб быстро изучать в забоях.

Производство и внедрение таких десорбометров нового типа можно организовать быстро и просто даже без больших финансовых затрат и рисков на основе научной и производственной кооперации с заинтересованными в сотрудничестве и внедрении российскими и зарубежными организациями.

Таким образом, устранить многие недостатки традиционных методов изучения десорбции метана углем можно за счет использования в забоях:

- 1 – очень быстрого и простого дистанционного измерения температуры свежееобнаженной поверхности забоя и бурового штыба тепловизорами и инфракрасными термометрами (пирометрами), чтобы сразу видеть уголь и штыб с более низкой температурой, что может быть признаком быстрой де-

сорбции газа из него в результате геологической нарушенности [2, 7–11];

2 – простых и дешевых портативных десорбметров нового принципа действия, которыми можно обеспечить все забои для более быстрой и точной оценки интенсивности метановыделения из угля и пород в целях улучшения прогноза выбросоопасности и метановыделения в призабойной зоне пласта;

3 – нового информативного количественного диффузионного параметра τ [2–6], который вычисляют по формулам (1) или (2) с учетом угла наклона α или β прямолинейного начального участка сорбционно-кинетической или десорбционно-кинетической кривой в координатах ($t^{0.5}$, a_t/a_0):

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

или

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

где t – время, с; a_t , a_0 – количество газа, сорбированное или десорбированное соответственно к данному моменту времени и до установления сорбционного равновесия при конечном давлении газа, $\text{м}^3/\text{кг}$;

Диффузионный параметр τ связан с коэффициентом диффузии метана в угле D формулой $\tau = \pi r^2/(36D)$, где r – эффективный радиус нерасчлененной трещинами микропористой частицы угля, м.

Таким образом, предлагаемый метод включает три основных этапа:

- во-первых, быстрое визуальное обнаружение любым шахтером на свежееобнаженной поверхности забоя и в буровом штыве «подозрительного» угля по его пониженной температуре, что может быть результатом быстрой десорбции из него большего количества метана из-за его нарушенности;

- во-вторых, быстрой и простой проверки в забое причин большего снижения температуры такого угля по сравнению с другим, поместив его в портативный десорбметр нового принципа

действия для простой и быстрой визуальной оценки скорости десорбции метана и остаточной газоносности (если метана в пробе осталось мало, то именно его десорбция была причиной более сильного охлаждения угля, то есть этот уголь является нарушенным);

- в-третьих, быстрое и простое определение даже в забоях важных количественных характеристик десорбции метана углем (диффузионного параметра τ и коэффициента диффузии метана в угле D), необходимых для совершенствования прогноза дегазации пластов и вентиляции шахт.

Применение этого метода дает возможность быстро и просто повысить безопасность и экономичность работы метанообильных шахт благодаря:

- 1) предоставлению всем шахтерам в забоях постоянной возможности сразу же увидеть потенциально опасный по газовому фактору уголь на свежееобнаженной поверхности забоя и буровой штыв из зон геологических нарушений по снижению их температуры по сравнению с температурой в ненарушенных зонах пласта в аналогичных условиях, используя тепловизоры или инфракрасные термометры (пирометры), что позволит:

- уменьшить внедрение бурового инструмента и забоев в опасные зоны, предотвращая возможные газодинамические явления;

- быстро и просто визуально оценить в забоях газокинетические свойства и остаточную газоносность проб угля, отобранных прежде всего в «подозрительных» местах, где температура поверхности угля в забое или бурового штыва из шпура или скважины ниже обычной температуры в таких же условиях в ненарушенных зонах данного угольного пласта;

- убедиться в наличии опасности нормативными методами прогноза и своевременно принять необходимые меры для повышения безопасности;

• сразу обнаруживать геологические нарушения в призабойной зоне;

2) проверке потенциально опасных мест, в которых температура угля или бурового штыба ниже обычной, нормативными методами прогноза выбросоопасности, что должно повысить эффективность их применения;

3) определению и использованию количественного диффузионного параметра τ , значение которого численно совпадает с временем десорбции постоянной доли газа от общего его количества, десорбированного до равновесия углем или горной породой с угольными включениями. Такой параметр τ хорошо согласуется с данными о тектонической нарушенности проб угля и о динамике газовыделения из них, получаемыми другими методами,

и имеет по сравнению с известными в мире критериями ряд преимуществ [2–6]:

- быстрое получение количественных характеристик десорбции;

- возможность применять диффузионный параметр τ для описания десорбции метана, этана и других газов из угля и горных пород с угольными включениями и упрощения интерпретации этих экспериментальных данных;

4) возможности прогнозировать газовыделение из дегазационных скважин уже при их бурении, быстро и просто определяя газокинетические свойства угля и остаточную газоносность в пробах из каждой из них, а также оценивать эффективность дегазации любых пластов на каждом участке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально прикладные методы решения проблемы метана угольных пластов. – М.: Изд-во Академии горных наук, 2000. – 519 с.
2. Радченко С.А. Развитие методов и разработка устройств для оценки метаноотдачи углей в шахтах на основе газокинетических и тепловых эффектов десорбции метана: дис... д-ра техн. наук. – М.: УРАН ИПКОН РАН, 2008. – 369 с.
3. Радченко С.А., Матвиенко Н.Г. Методы быстрой оценки в забоях интенсивности метановыделения из угля и пород для повышения безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2014. – № 4. – С. 34–39.
4. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Methane emission from coal and associated strata samples // International Journal of Mining and Geological Engineering. – 1989. – № 7. – P. 101–121.
5. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. The relationship between pore structure of coal and gas-dynamic behaviour of coal seams // Mining Science and Technology. – 1989. – № 8. – P. 109–131.
6. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Gas emission from coal and associated strata: interpretation of quantity sorption-kinetic characteristics // Mining Science and Technology. – 1989. – № 8. – P. 263–284.
7. Радченко С.А., Матвиенко Н.Г. Патент России № 2019706. Способ определения выбросоопасных зон и газоносности угольных пластов в призабойной зоне. МКИ Е 21 F 5/00. – 1994. – Бюл. № 17.
8. Эттингер И.Л., Шульман Н.В., Ковалева И.Б. и др. О теплотах сорбции метана ископаемыми углями при давлениях до 8,0 МПа // Химия твердого топлива. – 1981. – № 5. – С. 121–124.
9. Эттингер И.Л., Радченко С.А., Горбунов И.А. и др. Повышенное метановыделение в выбросоопасных зонах пласта – причина снижения его температуры в процессе разработки // Уголь Украины. – 1981. – № 10. – С. 39–40.
10. Эттингер И.Л., Маевский В.С., Радченко С.А. Контроль газодинамического состояния призабойной зоны пласта // Уголь. – 1983. – № 5. – С. 8–9.
11. Эттингер И.Л., Лидин Г.Д., Шульман Н.В. и др. Изменение температуры угольного пласта как показатель происходящих в нем механических и физико-химических процессов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1984. – № 5. – С. 65–69. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Радченко Сергей Анатольевич – доктор технических наук, профессор, доцент,
e-mail: radchenko.s.a.tula@mail.ru,
Тульский государственный педагогический университет им. Л.Н. Толстого,
Матвиенко Николай Григорьевич – доктор технических наук, профессор,
ведущий научный сотрудник, e-mail: elena-sol@mail.ru, ИПКОН РАН.

UDC 622.33:622.41:533.17

LOW-COST RAPID METHOD FOR ASSESSING THE RISK OF THE GAS DANGER AT DRILLING AND TUNNELING WORKS IN COAL MINES

Radchenko S.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Assistant Professor,
e-mail: radchenko.s.a.tula@mail.ru, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, 300012, Tula, Russia,
Matvienko N.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, e-mail: elena-sol@mail.ru,
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences,
Moscow, Russia.

Typically, gas-dynamic phenomena and increased methane emission in coal mines occur in disturbed areas, so many regulatory methods for predicting outburst in the world based on the search of tectonic disturbances of coal in coal seams. But many of these methods have hardly used at high speed tunneling, drilling and clearing activities, as necessary for results a lot of time (especially if coal samples must be delivered to the laboratory for the study).

Therefore, to improve safety in mines is necessary to develop and use fast and simple methods and portable devices for reliable prediction of disturbance coal that miners can use without sacrificing productivity of tunneling, drilling and clearing activities.

Such low-cost rapid method for assessing the risk of the gas factor and a very simple and cheap desorbometers of new principle of action developed based on research of methane desorption and sorption in coal samples in a unique experimental sorption calorimetric complex at IPKON of Russian Academy of Sciences and in gas-bearing coal seams. They will allow all miners quickly improve safety of driving and drilling on the base of more rapid, simple and reliable forecast of disturbance of coal in the near-face zone even without the high expenses of money and labor.

Their use will allow miners immediately see the broken coal on the surface of the face or in the drilling culm in his lower temperature with a thermal imager or an infrared thermometer (pyrometer), and then quickly and easily identify at working the gas-dynamic characteristics and residual gas content of coal using this desorbometer of new principle of action. This can quickly, easily and cheaply improve the security in methane mines.

Key words: security, coal beds, methane emission, geological disturbance, gas-dynamic phenomena, forecasting methods, the temperature of coal, desorbometer.

REFERENCES

1. Malyshev Yu.N., Trubetskoi K.N., Airuni A.T. *Fundamental'no prikladnye metody resheniya problemy metana ugol'nykh plastov* (Fundamentally applied methods for solving problems of coalbed methane), Moscow, Izd-vo Akademii gornykh nauk, 2000, 519 p.
2. Radchenko S.A. *Razvitie metodov i razrabotka ustroystv dlya otsenki metanootdachi uglei v shakhtakh na osnove gazokineticheskikh i teplovykh effektov desorptsii metana* (Development of methods and design of devices for evaluation of methane emission from coal in mines on the basis of gas-kinetic and thermal effects of methane desorption), Doctor's thesis, Moscow, URAN IPKON RAN, 2008, 369 p.
3. Radchenko S.A., Matvienko N.G. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2014, no 4, pp. 34–39.
4. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Methane emission from coal and associated strata samples. *International Journal of Mining and Geological Engineering*. 1989, no 7, pp. 101–121.
5. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. The relationship between pore structure of coal and gas-dynamic behaviour of coal seams. *Mining Science and Technology*. 1989, no 8, pp. 109–131.
6. Barker-Read G.R., Radchenko S.A. Gas emission from coal and associated strata: interpretation of quantity sorption-kinetic characteristics. *Mining Science and Technology*. 1989, no 8. P. 263–284.
7. Radchenko S.A., Matvienko N.G. *Patent RU № 2019706*, 1994.
8. Ettinger I.L., Shul'man N.V., Kovaleva I.B. *Khimiya tverdogo topliva*. 1981, no 5, pp. 121–124.
9. Ettinger I.L., Radchenko S.A., Gorbunov I.A. *Ugol' Ukrainy*. 1981, no 10, pp. 39–40.
10. Ettinger I.L., Maevskii V.S., Radchenko S.A. *Ugol'*. 1983, no 5, pp. 8–9.
11. Ettinger I.L., Lidin G.D., Shul'man N.V. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 1984, no 5, pp. 65–69.