УДК
622.411.33:
533.17

С.А. Радченко, Н.Г. Матвиенко

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ЭКСПРЕСС-ПРОГНОЗА В ЗАБОЯХ ГАЗОВЫДЕЛЕНИЯ ИЗ УГЛЯ ПО ИЗМЕНЕНИЮ ЕГО ТЕМПЕРАТУРЫ

Одним из самых перспективных и малозатратных методов быстрого прогноза газовыделения из угля является контроль за изменением его температуры. Доказано, что теплоты десорбции метана для каждого угольного пласта на участках любой геологической нарушенности в пределах шахты можно считать постоянными до давлений до 8 МПа, то есть величина снижения температуры угля при десорбции прямо пропорциональна количеству десорбированного метана. Показано, что тектоническая нарушенность угля по высоте и по простиранию пластов может сильно меняться даже на расстоянии в десятки сантиметров и для повышения безопасности работ необходимо постоянно определять и учитывать газокинетические свойства угля перед забоем. Научно обоснована возможность быстро и значительно повысить безопасность по газовому фактору в шахтах за счет постоянного контроля температуры поверхности забоя и бурового штыба тепловизорами и дистанционными инфракрасными термометрами, что позволит: сразу видеть зоны повышенной десорбции; использовать нормативные методы прогноза выбросоопасности и газовыделения; постоянно получать, сохранять в электронном виде и использовать в научных и практических целях больше достоверной информации об угольных пластах; очень быстро обнаруживать и учитывать изменение свойств угля в каждом пласте без больших затрат денег и труда и изменений технологии работ, используя маленькие и удобные десорбометры нового принципа действия.

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

Одной из основных проблем при обеспечении безопасности подземной разработки газоносных угольных месторождений является недостаточная точность прогноза интенсивности газовыделения в выработки, которая может возрастать до нескольких раз по сравнению с расчетными величинами, а так-

ISSN 0236-1493. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 7. С. 328–336.
© 2016. С.А. Радченко, Н.Г. Матвиенко.

же приводить к газодинамическим явлениям, взрывам метана и т.д. [1].

Давно известно, что повышенное газовыделение и газодинамические явления бывают в зонах геологических нарушений, и разработаны многие методы и приборы оценки нарушенности угля в шахтах и лабораториях [1–2]. Но в современных условиях из-за роста скорости проходки и очистных работ большинство из них используют все меньше, так как они не позволяют [3–4]:

• быстро обнаруживать любой нарушенный уголь в призабойной зоне;

• вести надежный и непрерывный контроль и прогноз нарушенности угля во всех забоях без больших затрат времени, денег и труда;

• очень быстро получать достоверную количественную информацию о динамике газовыделения из угля и сразу использовать ее в целях повышения точности прогноза газодинамических явлений и количества выделяющегося метана, в том числе для оптимизации работы систем вентиляции.

Как показал анализ [3–4], 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, где бывают опасные выделения метана и загазирование выработок, обнаруживают лишь при проходке;

• прогноз интенсивности газовыделения в горные выработки недостаточно точен, и прежде всего в зонах геологических нарушений, при пересечении которых метанообильность выработок может существенно увеличиваться (в 1,5–4 раза и более), что может создать аварийные ситуации;

• неожиданное вскрытие выработками нарушенных зон может вызывать разные интенсивные газопроявления, в том числе весьма быстрые и не всегда предсказуемые, что увеличивает угрозу взрыва метана;

• и 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.

Поэтому в ИПКОН РАН с помощью экспериментальных исследований на уникальном комплексе калориметрического и сорбционного оборудования (модернизированные низкотем-

пературный микрокалориметр Кальве с приставкой высокого давления фирмы Setaram и прибор «Сорбтомат» фирмы Carlo Erba) научно обоснованы методы быстрой количественной оценки в забоях газовыделения из угля по изменению его температуры, которые дают возможность без больших затрат сразу увидеть на поверхности любого забоя или по буровому штыбу зоны повышенной газоотдачи и своевременно принимать меры для повышения безопасности по газовому фактору [3–8].

Лабораторными и шахтными опытами получены 3 важных результата:

1. Дифференциальная и интегральная теплота сорбции и десорбции метана углем постоянна в пределах шахтопласта в зонах любой геологической нарушенности при содержании летучих веществ $V^{г}$ от 9 до 30% и давлениях до 8 МПа, но для разных пластов одинаковых стадий метаморфизма она изменяется в широких пределах (15–28 кДж/моль), а ее зависимость от $V^{г}$, сорбционной емкости и глубины залегания угля не обнаружено. То есть научно обоснована возможность непосредственного определения количества десорбированного из угля метана и оценки интенсивности метановыделения из разрабатываемого угольного пласта на основе контроля за изменением температуры угля в забое [3–4, 6–8].

2. Снижение температуры угля при десорбции метана прямо пропорционально количеству выделившегося метана в случае, когда теплообменом с окружающей средой можно пренебречь. При теплообмене призабойной зоны пласта с вмещающими породами его охлаждение максимально в центре, а в местах контакта с породами почвы и кровли оно может быть в несколько раз меньше из-за подвода тепла из них. Поэтому результаты замера температуры угля в призабойной зоне и бурового штыба надо анализировать с учетом расположения мест замеров и отбора проб, теплоты десорбции метана, влажности и времени теплообмена угля с окружающей средой, скорости подвигания забоя [3, 9].

3. Снижение температуры угольного пласта за счет десорбции из него газа можно использовать как критерий интенсивности его метаноотдачи и выбросоопасности [3–9].

Это подтвердило целесообразность замера температуры угля на свежеобнаженной поверхности забоя и бурового штыба сразу после его выхода из шпура или скважины для контроля за газовыделением из него и прогноза выбросоопасности пласта. Но до сих пор это мало применялось в шахтах, хотя изменение температуры угля изучали многие ученые [3–11].

По-видимому, этот факт можно объяснить следующими причинами:

1 – температура поверхности забоя или бурового штыба с разных интервалов бурения зависит от ряда факторов, что позволяет использовать величину охлаждения угля в забое только для предварительной оценки интенсивности газовыделения, результаты которой нужно затем проверять нормативными методами прогноза выбросоопасности;

2 – интерпретация изображений тепловизоров была неоднозначной, что мешало применять данный метод для прогноза выбросоопасности в очистных забоях шахт;

3 – замеры температуры стенок шпуров или скважин на разных интервалах бурения и бурового штыба термометрами замедляют бурение (нужно извлекать буровой инструмент и ждать какое-то время), недостаточно технологичны и информативны (замеры ведутся лишь в отдельных точках).

Поэтому предлагается измерять температуру свежеобнаженной 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 °С, имеет температурную чувствительность 0,05 °С и одновременно сохраняет как термограмму, так и реальный цифровой снимок. Ввод в него критического значения температуры позволит любому шахтеру 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. То есть любой шахтер сможет сразу увидеть, что забой входит в опасную зону, и своевременно принять необходимые меры.

Для экономии средств можно использовать и портативные дистанционные 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 измерять в разных точках.

Эти результаты очень важны по следующим причинам [3, 12].

1. Экспериментальные замеры в нарушенных зонах газовыделения из шпуров, отбитого угля и бурового штыба часто не дают точных результатов.

2. До сих пор крайне сложно в каждом подготовительном и тем более в очистном забое постоянно изучать газовыделение из большого количества проб угольной мелочи и бурового штыба, даже обеспечив каждый забой одним довольно сложным десорбометром (особенно если для каждого эксперимента надо собрать довольно много угольной мелочи или бурового штыба). Поэтому в большинстве случаев в метанообильных шахтах ряда стран с помощью десорбометров проводили сравнительно мало опытов, а получаемые результаты применяли лишь для прогноза выбросоопасности.

3. При обработке результатов более 2000 сорбционно-кинетических и десорбционно-кинетических опытов для образцов углей и углесодержащих пород из многих пластов шахт России, Украины, Великобритании и США, полученных учеными этих стран, и шахтных экспериментов при разработке ряда выбросоопасных пластов установлено, что в этих пластах нарушенность угля и скорость десорбции метана из него могут очень сильно изменяться по мощности и простиранию пласта даже на малом расстоянии, что и объясняет недостаточную эффективность применения нормативных методов прогноза выбросоопасности, которые не всегда могут обнаружить такие изменения;

4. Современные методики прогноза метановыделения в шахтах для проектирования систем вентиляции пока не могут учитывать конкретные газокинетические свойства угля в каждом разрабатываемом пласте, а тем более – в каждой горной выработке. Это мешает обеспечению эффективного экономичного проветривания каждой выработки и безопасности работ.

Применяя тепловизоры и инфракрасные термометры (пирометры) для постоянного контроля температуры свежеобнаженной поверхности забоя и бурового штыба в горных выработках, особенно в подготовительных, можно повысить безопасность в них по газовому фактору, так как это позволит:

1 – довольно быстро определить экспериментально для каждой из них критические значения снижения температуры угля, которые типичны для нарушенного угля с высокой скоростью десорбции метана, а затем сразу обнаруживать такой уголь в забое по его охлаждению до таких температур;

2 – легко повысить надежность ряда нормативных методов прогноза выбросоопасности, применяя их прежде там, где температура угля ниже;

3 – сразу видеть по снижению температуры угля любые нарушенные зоны и оперативно принимать необходимые меры

для безопасности работ в забое, в том числе увеличивая подачу воздуха и меняя технологию работ;

4 – легко определять без больших затрат для каждой подготовительной выработки количественную взаимосвязь между охлаждением угля (штыба), его газодинамическими характеристиками и метановыделением в выработку (по описанной в [3] методике), а затем использовать ее для похожих выработок по соответствующему угольному пласту, что позволить точнее оценить заранее возможное метановыделение из разрабатываемого угольного пласта и количество воздуха, нужное для обеспечения безопасности работ;

5 – получать, хранить в электронном виде и использовать в научных и практических целях больше достоверной информации об угольных пластах;

6 – быстро обнаруживать и учитывать изменение свойств угля в любом пласте без больших затрат денег и труда и изменений технологии работ.

Причем наиболее эффективным предлагаемый метод будет, если при замере температуры свежеобнаженной поверхности забоя и бурового штыба применять портативные дешевые десорбометры нового принципа действия [3, 4], которые позволят сразу получать в забоях достоверную информацию о газокинетических свойствах и остаточной газоносности проб угля (за счет нового простого способа быстрой оценки потенциальной выбросоопасности и газоносности угля в призабойной зоне с учетом ноу-хау), а также постоянно видеть, измерять и учитывать объем выделившегося из проб газа. Производство этих десорбометров для применения в забоях метанообильных шахт можно организовать быстро и без больших финансовых затрат, что может значительно улучшить условия для повышения безопасности в шахтах России и других стран, особенно разрабатывающих выбросоопасные пласты.

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. *Эттингер И. Л.* Внезапные выбросы угля и газа и структура угля. – М.: Недра, 1969. – 160 с.

3. *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.

4. *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.

5. *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.

6. *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.

7. *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.

8. *Эттингер И.Л.*, *Маевский В.С.*, *Радченко С.А.* Контроль газодинамического состояния призабойной зоны пласта // Уголь. – 1983. – № 5. – С. 8–9.

9. Barker-*Read G.R.*, *Radchenko S.A.* An experimental investigation of coal/air heat transfer. – Great Britain, University of Leeds, LUMA. – 1990. – P. 193–202.

10. *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.

11. *Кобылкин А.С.*, *Кобылкин С.С.* Вопросы нормирования и измерения теплового режима шахт и рудников / Международная молодежная научная школа «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых». Т. 2. 19–23 ноября 2012 г. – М.: ИПКОН РАН, 2012. – С. 478–480.

12. *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. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

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

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 7, pp. 328–336.

UDC 622.411.33: 533.17

S.A. Radchenko, N.G. Matvienko

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF METHODS OF EXPRESS-FORECAST AT FACES OF GAS RELEASE FROM COAL USING THE CHANGE ITS TEMPERATURE

One of the main reasons for the gas problem in coal mines is the inability to see at a glance and quickly take into account the change in each face geological disturbances and gas-kinetic properties of coal.

Experimental studies in laboratories and methane bearing mines proved that one of the most promising and low-cost methods of forecasting rapid evolution of gas from coal is to monitor the change in its temperature. Firstly, it is proved that the heat of desorption of methane for each coal seam in the areas of any geological disturbance within the mine can be considered constant at pressures up to 8 MPa. This means that the reducing coal temperature during desorption is directly proportional to the quantity of the desorbed methane. Secondly, we show that tectonic disturbances of coal in seam can vary greatly even at a distance of tens of centimeters, and to improve the safety of work need to constantly identify and take into account the gas-kinetic properties of coal before face.

We scientifically substantiated ability to quickly and significantly improve the security on the gas factor in the mines due to the constant temperature control of surface of the seam and of drilling small coal using a thermal imager and remote infrared thermometer (pyrometer), which will allow: 1 – immediately see areas of increased desorption, i.e. zones of geological faults, at a lower temperature of coal in them; 2 – use normative methods of forecasting outbursts first of all in the area of maximum cooling of coal, as this would increase their reliability and safety in mines; 3 – constantly receive, store electronically and used for scientific and practical purposes more accurate information about the coal seams; 4 – quickly identify and take into account the changes in the properties of coal in each seam without the high expense of money and labor, and changes in technology of works by using small and comfortable desorbometrs of new principle of action.

This can increase very fast, easy and cheap the security in faces of gaseous mines, as all miners will immediately see the disturbed outburst prone coal in seams and take the necessary measures.

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

AUTHORS

Radchenko S.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Assistant Professor, Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University, 300012, Tula, Russia, e-mail: radchenko.s.a.tula@mail.ru,
Matvienko N.G., Doctor of Technical Sciences, Professor, Leading Researcher, Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia, e-mail: elena-sol@mail.ru.

REFERENCES

1. Malyshev Yu. N., Trubetskoy K. N., Ayruni 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. Ettinger I. L. *Vnezapnye vybrosy uglya i gaza i struktura uglya* (Sudden coal and gas outbursts and coal structure), Moscow, Nedra, 1969, 160 p.

3. Radchenko S. A. *Razvitie metodov i razrabotka ustroystv dlya otsenki metanootdachi ugley v shakhtakh na osnove gazokineticheskikh i teplovykh effektov desorbtsii 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.

4. Radchenko S. A., Matvienko N. G. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti*. 2014, no 4, pp. 34–39.

5. Radchenko S. A., Matvienko N. G. *Patent RU 2019706. MKI E 21 F 5/00.* 1994.

6. Ettinger I. L., Shul'man N. V., Kovaleva I. B. *Khimiya tverdogo topliva*. 1981, no 5, pp. 121–124.

7. Ettinger I. L., Radchenko S. A., Gorbunov I. A. *Ugol' Ukrainy*. 1981, no 10, pp. 39–40.

8. Ettinger I. L., Maevskiy V. S., Radchenko S. A. *Ugol'*. 1983, no 5, pp. 8–9.

9. Barker-Read G. R., Radchenko S. A. *An experimental investigation of coal/air heat transfer*. Great Britain, University of Leeds, LUMA. 1990. P. 193–202.

10. Ettinger I. L., Lidin G. D., Shul'man N. V. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 1984, no 5, pp. 65–69.

11. Kobylkin A. S., Kobylkin S. S. *Mezhdunarodnaya molodezhnaya nauchnaya shkola «Problemy osvoeniya nedr v XXI veke glazami molodykh»*. T. 2. 19–23 noyabrya 2012 g. (International Youth Scientific School «Problems of development of mineral resources in the XXI century through the eyes of the young», vol. 2, November 19–23, 2012), Moscow, IPKON RAN, 2012, pp. 478–480.

12. 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.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ГОРНАЯ КНИГА»
НА 20-й МЕЖДУНАРОДНОЙ ВЫСТАВКЕ MINING WORLD RUSSIA-2016