УДК 622.822

Борисенко Д.И. − к.т.н., Московский государственный университет технологий и управления, Москва, Россия

АКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ВОЗГОРАНИЙ В ВЫРАБОТАННОМ ПРОСТРАНСТВЕ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Статья относится к горному делу. Работа посвящена проблеме определения координат очагов пожара в выработанном пространстве угольных шахт. В статье показывается возможность диагностики очагов возгораний в выработанном пространстве по характерному акустическому излучению. Из-за частого отражения от границы раздела сред при распространении по насыпной среде акустическое излучение сильно затухает. Поэтому утверждается, что для большей информативности следует регистрировать акустическое излучение, распространяющееся по ненарушенному акустическому тракту. Таким трактом представляются оставшаяся после выемки часть угольного пласта, почва и кровля угольного пласта. Предлагается устанавливать акустические датчики в оставшейся после выемки части угольного пласта, почве и кровле угольного пласта, а также размещать на секциях механизированной крепи. Утверждается, что данный подход применим для ситуаций, которые могут быть представлены в виде плоских задач. Отмечается, что изложенный подход в чистом виде не применим к объёмным задачам, например, для поиска очагов пожаров в породных отвалах горного производства.

Введение

Одной из важнейших проблем угледобывающей отрасли являются подземные пожары [1]. От всех аварий, происходящих в шахтах России, 66% приходится на эндогенные пожары и взрывы метана, а ущерб от аварий этого вида достигает 78 % от ущерба всех аварий, происходящих в шахтах. [2]. Наиболее часто эндогенные пожары происходят в выработанном пространстве [3].

Рациональнее и дешевле не бороться с действующими пожарами, а не допускать их появления. Если предотвратить возникновение пожара всё-таки не удалось, то наиболее эффективна борьба с эндогенными пожарами на ранних стадиях [4].

Для своевременного выявления очагов пожаров и зон самонагревания необходимо иметь надёжные средства диагностики. Для диагностики пожаров в угольных пластах, был предложен акустический способ идентификации горения и процессов, предшествующих возгоранию угля (рис.1.) [5].

© Борисенко Д.И. 2013

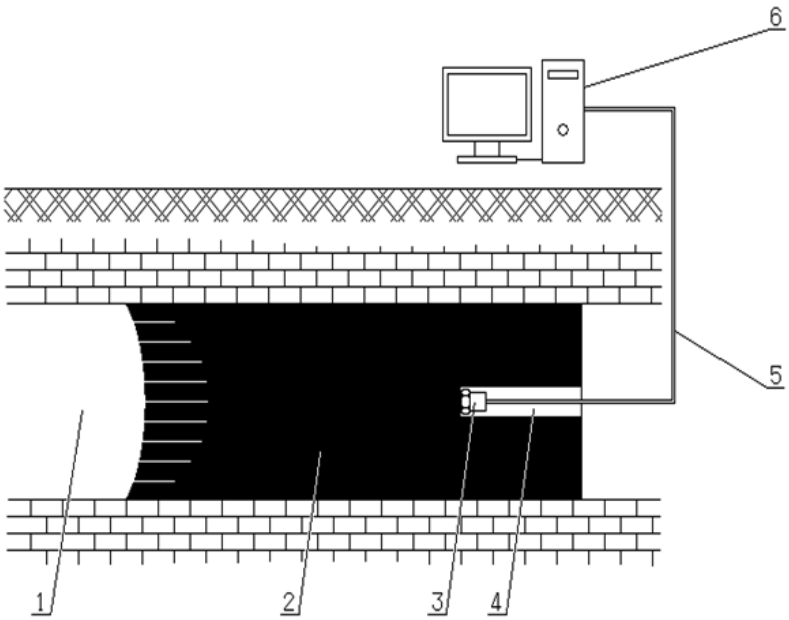

Рис. 1. Схема проведения акустической
диагностики пожара в угольном пласте:
1 – очаг пожара; 2 – угольный пласт; 3 – чувствительный элемент
системы обнаружения пожара; 4 – шпур; 5 – канал передачи сигнала;
6 – блок регистрации сигнала и принятия решения.

Уголь, являясь многокомпонентной средой, состоит из структурных элементов с различающимися теплофизическими свойствами, в частности, теплоёмкостью, теплопроводностью и термическим расширением. Поэтому при внешнем подводе тепла к угольному веществу различные структурные элементы, составляющие уголь, будут менять свои размеры, форму и пространственную ориентацию с разной скоростью, в результате чего картина напряжений внутри угля начнёт меняться. При продолжении подвода тепла напряжения, вызванные нагревом, превышают пороговые (критические) значения, и связи между соседними структурными элементами разрываются. Образуются микроразрывы. При дальнейшем нагревании микроразрывы объединяются в микротрещины, а те, в свою очередь, в макротрещины. Появление и прорастание (развитие) трещин сопровождается образованием свободных поверхностей, которые совершают механические колебания, распространяющиеся по окружающей среде. Эти

колебания несут информацию о причине, их порождающей. Предполагается, что по характерному акустическому излучению, возникающему при горении и процессах, предшествующих возгоранию, можно диагностировать очаги пожара и зоны самонагревания в угольных пластах [6].

Предложение

В настоящей работе предлагается использовать вышеописанный способ для диагностики возгораний в выработанном пространстве.

Принципиальным отличием выработанного пространства от угольного пласта является геометрия и абсолютные размеры углепородного и пустотного (газового) кластеров. Если угольный пласт для акустического излучения, характерного горению и процессам, предшествующим возгоранию, можно считать сплошной средой, то выработанное пространство для той же задачи рассматриваться в качестве сплошной среды не может.

Обоснование

Рассмотрим, как происходит распространение акустического излучения в условиях выработанного пространства. Как было показано выше, акустические импульсы возникают вследствие процесса трещинообразования как явление, сопровождающее образование свободной поверхности и затем распространяются во все стороны. Окружающим пространством для образующихся свободных поверхностей являются пустоты и твёрдые тела. Особенность распространения акустического излучения в насыпной кусковой среде, которой является выработанное пространство, заключается в частом переходе импульсов из одной среды в другую. При этом каждый раз часть энергии излучения теряется за счёт отражения от границы раздела сред. Затухание волн (потеря информативности) тем выше, чем через большее число границ раздела сред они проходят.

Заметим, что распространение акустических импульсов по различным средам происходит неодинаково: с различными скоростями и коэффициентами затухания. Так, акустическая проводимость твёрдой среды лучше, чем газовой, а сплошной среды лучше, чем нарушенной.

В отличие от угольного пласта, где применимы правила геометрической акустики, направление распространения акустического излучения на масштабе, сопоставимом с расстояниями между зонами контакта кусков угля и породы, образующих обрушенную массу, имеет сложный характер. Поэтому наиболее рациональным представляется регистрация акустического излучения, источник которого находится в выработанном пространстве (обрушенной массе), распространяющегося по сплошной среде.

Применительно к выработанному пространству при очистных работах в угольных шахтах, уместно использовать менее нарушенные (необвалившиеся) вмещающие породы. На рис.2 представлена схема, где в качестве акустического тракта для «сигнального» излучения используется почва отработанного пласта. Заметим, что в зависимости от конкретных условий может быть целесообразно регистрировать «сигнальное» акустическое излучение, распространяющееся не только по почве, но и по кровле разрабатываемого пласта или по не вынутой части угольного пласта. Основным критерием является меньшая нарушенность, а потому лучшая акустическая проводимость среды. В ряде случаев для повышения информативности следует располагать чувствительные элементы как в почве, так и в кровле и (или) в оставшейся части угольного пласта одновременно. В зависимости от конкретных условий более рациональным может оказаться установка чувствительных элементов на секциях механизированной крепи. В зависимости от расположения источника характерного «сигнального» излучения (исходящего от очага пожара или зоны самонагревания) и образовавшегося акустического тракта по обрушенной массе импульсы от источника могут проходить по кровле с меньшим затуханием, а потому с большей информативностью.

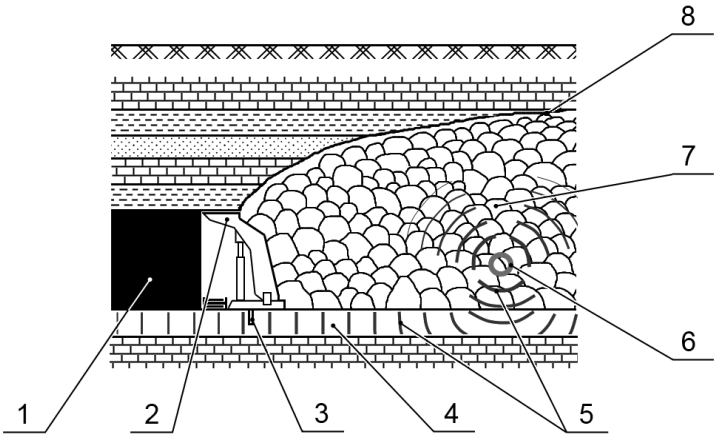

Рис. 2. Схема проведения диагностики подземного пожара в выработанном пространстве:
1 – угольный пласт; 2 – крепь; 3 – чувствительный элемент системы обнаружения пожара; 4 – необрушенная вмещающая порода (почва разрабатываемого пласта); 5 – распространение акустического сигнала; 6 – очаг пожара; 7 – выработанное пространство; 8 – контакт отколотой массы и необрушенного горного массива над очагом пожара

Необходимо отметить, что предлагаемый способ не является универсальным – он, как и любое средство, безусловно, имеет ограничения. Эти ограничения определяются факторами, влияющими на распространение акустических колебаний, и имеющейся информацией об акустическом тракте, по которому эти колебания распространяются. К такой информации относятся свойства среды (прежде всего плотность пород, из которых состоит акустический тракт, и скорость звука в них), максимально полная геометрия обрушенного пространства (крупность кусков обрушенной массы, соприкасается ли обрушенная масса в районе источника «сигнального» акустического излучения с необрушенной кровлей). Так, кусковатость (размер твёрдых фрагментов обрушенной массы) лимитирует максимальный размер образующихся трещин и тем самым амплитуду возникающих акустических импульсов. Контакт обрушенной массы с массивом над очагом возгорания (позиция 8 на рис. 2) показывает целесообразность установки чувствительных к акустическому излучению элементов в кровлю горной выработки.

Конечно, часть необходимых сведений можно получить из предварительных измерений, например, определить скорость и затухание звука в различных направлениях по угольным пластам и вмещающим породам и тогда результативность предлагаемого способа заметно увеличивается. Как и в подавляющем большинстве технических задач, результат тем достовернее, чем полнее и точнее собрана необходимая информация.

В любом случае, основной проблемой при применении акустической диагностики горения и процессов, предшествующих возгоранию, остаётся сильное затухание сигнала, распространяющегося по обрушенной массе. Таким образом, фактором, лимитирующим результативность акустического способа диагностики очагов пожара и зон самонагревания в выработанном пространстве, является протяжённость составляющей акустического тракта, приходящейся на распространение сигнала по раздробленной горной массе. Однако, выработанное пространство применительно к шахтам, разрабатывающим пластовые полезные ископаемые, часто имеет пластовую же форму, и его вертикальный размер (мощность) мал по сравнению с остальными размерами. Поэтому возникающее в толще выработанного пространства акустическое излучение всегда имеет возможность по сравнительно короткому пути добраться до ненарушенных вмещающих пород почвы, кровли и (или) оставшейся части угольного пласта, обладающих гораздо большей акустической проводимостью, по которым в свою очередь – до чувствительных элементов регистрирующей аппаратуры. Отметим, что это обстоятельство принципиальным образом зависит от геометрии

зоны, занятой отколотой горной массой, и, будучи справедливым для выработанного пространства угольных шахт, не выполняется для случаев с другой геометрией скопления отбитой массы, например, для породных отвалов.

Заключение

Таким образом, диагностика очагов горения и зон самонагревания в выработанном пространстве по акустическому излучению возможна, просто в этом случае следует регистрировать импульсы, распространяющиеся не по среде, непосредственно в которой они возникают (в отбитой массе), а в менее нарушенных слоях почвы, кровли и (или) оставшейся части угольного пласта, являющихся лучшим акустическим трактом.

Литература

1. Козлюк А.И., Чарков В.П., Тепер В.Б. Стратегия выбора средств тушения подземных пожаров и её реализация на ЭВМ// Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. – 1980. – №6. – С.13–14.

   Kozlyuk A.I., Charkov V.P., Teper V.B. The strategy of choice of means of extinguishing underground fires and its implementation on a computer // Tehnika bezopasnosti, ohrana truda i gornospasatel'noe delo. – 1980. –№6. – P.13–14.

2. Скрицкий В.А. Исследование механизма возникновения очагов самовозгорания угля и обоснование способов предотвращения эндогенных пожаров в шахтах.: Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук. – Новосибирск: ИГД СО РАН, 2011. – 34 с.

   Skritskiy V.A. Investigation of the mechanism of coal spontaneous combustion outbreaks occurrence and substantiation the way to prevent endogenous fires in mines: Avtoref. diss. dokt. tehn. nauk. – Novosibirsk: IGD SO RAN, 2011. – 34 pp.

3. Руководство по борьбе с эндогенными пожарами на шахтах Минуглепрома СССР : Утв. Минуглепромом СССР 30.10.90. – Донецк: ВНИИГД, 1990. – 223 с.

   Guide to struggle with endogenous fires in coal mines of the Coal Ministry of the USSR: Utv. Minuglepromom SSSR 30.10.90. – Donetsk: VNIIGD, 1990. – 223 pp.

4. Сурначев В.А., Зырянов К.В. Определение экономического ущерба от эндогенного подземного пожара// Безопасность труда в промышленности. – 1973. – №6. – С. 39–41.

Surnachev V.A., Zyryanov K.V. Determining the economic impact of endogenous underground fire // Bezopasnost' truda v promyshlennosti. – 1973. –№6. – P. 39–41.

5. Борисенко Д.И. Разработка способа акустической идентификации горения угля для диагностики очагов пожаров в угольных пластах. Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук, М: 2007. – 21 с.

   Borisenko D.I. A method for acoustic identification of coal burning for the diagnosis of fires in coal layers. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoi stepeni kandidata tehnicheskih nauk, M: 2007. – 21 pp.

6. Борисенко Д.И. Акустический способ определения координат очагов пожаров в глубине угольного массива и система для его осуществления. Патент Российской Федерации на изобретение №2393506 заявка № 2007120165 приоритет изобретения 30 мая 2007 г. зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 июня 2010 г.

   Borisenko D.I. The acoustic method of determining the coordinates of fires in the depths of a coal massif and system for implementation. Patent Rossiiskoi Federacii na izobretenie №2393506 zayavka № 2007120165 prioritet izobreteniya 30 maya 2007 g. zaregistrirovano v Gosudarstvennom reestre izobretenii Rossiiskoi Federacii 27 iyunya 2010 g.

Рукопись поступила 26.05.2013 г.