УДК 622.82

# АКУСТИЧЕСКИЙ СПОСОБ ДИАГНОСТИКИ ОЧАГОВ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

**Борисенко Д.И.**

*Национальный научный центр горного производства –*
*– Институт горного дела им А.А.Скочинского, Люберцы, Россия*

**АННОТАЦИЯ**

В работе формулируется способ определения координат очагов пожаров в угольных пластах по результатам регистрации акустических импульсов, генерируемых трещинообразованием, вызванным горением.

## ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространённым, сложным и опасным видом аварий на шахтах являются подземные пожары [1, стр. 13]. Причём, согласно специальным исследованиям [2, стр. 73, 74], трудоёмкость ликвидации эндогенного пожара и его последствий значительно (в некоторых случаях на порядок) выше трудоёмкости ликвидации других аварий, происходящих в горных выработках.

К сожалению, до сих пор отсутствуют способы, позволяющие с достаточной для эффективного проведения противопожарных мероприятий точностью обнаруживать очаги подземных пожаров. Особенно трудно определить местоположение очага, если он находится вне зоны прямой видимости, в глубине пласта, тем более, если он расположен на значительном расстоянии за поверхностью обнажения.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ОЧАГОВ ПОЖАРА

Для эффективной борьбы с подземными пожарами необходимо распознавать их на ранней стадии и чётко определять их местоположение [3, стр. 138; 4, стр. 41]. Для этих целей предлагается создать систему, работающую на выявленном и экспериментально подтверждённом принципе возникновении акустического излучения при горении угля и критических процессах, предшествующих его возгоранию [5]. Под такими процессами понимается явление генерации характерного для горения акустического излучения до возгорания как при воздействии открытым пламенем, так и на стадии самонагревания угля.

Под акустическим излучением подразумеваются, прежде всего, продольные волны, вызывающие колебания среды, нормальные фронту распространения. Под сигналом понимаются первые вступления продольных волн, пришедшие на чувствительные элементы системы. Распространение акустического излучения в угольном массиве предполагается считать изотропным по простиранию и падению пласта.

Поскольку условия формирования и залегания каждого конкретного угольного пласта уникальны, акустическое излучение, возникающее при его горении, обладает своей спецификой. Для настройки системы, учитывающей специфику горения данного угольного пласта, следует производить предварительную тарировку акустических сигналов, возникающих в данном угле при горении. При такой тарировке следует фиксировать частоту генерации акустических импульсов и их амплитудно-частотную характеристику. Как показало проведенное в настоящей работе исследование, именно эти характеристики обуславливают акустический критерий горения угля.

Предлагаемая система должна состоять из чувствительных к нормальным акустическим волнам датчиков, канала передачи сигнала (например, соединительных проводов) и блока принятия решений. Опыт создания систем, измеряющих акустические сигналы в горных породах, в отечественной практике существует [6, стр. 27–32; 7, стр. 182–204; 8, стр. 65; 9–11; 12, стр. 34]. В качестве датчиков системы можно использовать геофоны пьезоэлектрического или электродинамического типов [13, стр. 124-125]. Соединительные провода должны выбираться из условий, накладываемых выбранными датчиками, но общие требования следующие: из-за слабости передаваемых сигналов и их важности для цели всей системы провода должны быть помехозащищёнными и механически прочными.

© Борисенко Д.И.

Блок принятия решений должен включать систему фильтров, резонансные контура усиления и арифметико-логическое устройство.

Сигналы от разных датчиков, поступающие в блок принятия решений, отфильтровываются, усиливаются и анализируются. Анализ поступивших сигналов осуществляется в два этапа. На первом этапе время ожидания и амплитудно-частотная характеристика поступившего сигнала сравниваются с критериальными значениями, соответствующими горению данного угля, установленными при предварительной тарировке. На втором этапе по разности времени прихода сигнала с различных датчиков и известному расположению датчиков, с которых принят сигнал,

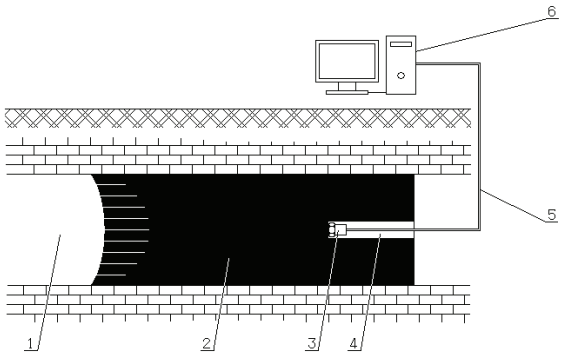


Рис.1 Схема проведения диагностики подземного пожара с дневной поверхности

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

пеленгуется источник сигнала. Поскольку сигналом являются специфическое акустическое излучение, характерное для горения данного угля, источником сигнала будет очаг пожара.

Идентификация очагов пожара при возможности установления чувствительных элементов непосредственно в пласт угля.

При возможности доступа из соседних выработок датчики следует устанавливать на обнажённую поверхность горящего пласта или во вмещающие горящий пласт породы: в его почву или кровлю. В настоящей работе рассматривается простейший случай – одномерная задача распространения прямых продольных волн по пласту угля (рисунки 1, 2).

Ситуация, показанная на рисунке 1, характерна для возникновения эндогенных пожаров на целиках у выработок: 41 % всех эндогенных пожаров на шахтах России происходит именно в таких местах. Однако для отдельных бассейнов соотношение пожаров в целиках и выработанном пространстве отличается от сложившегося в целом по стране. В

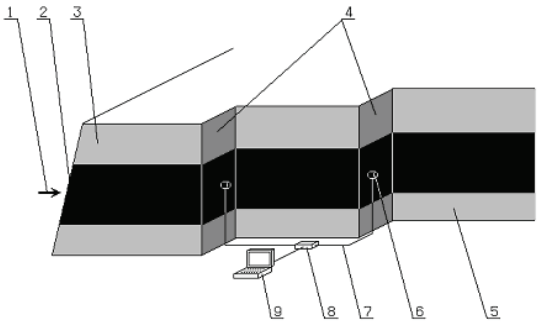


Рис.2 Схема размещения чувствительных элементов системы, осуществляющей способ акустической идентификации очагов пожара из подземных выработок

1 воздействие очага горения;
2 обнажённая поверхность угольного пласта;
3 вмещающие породы;
4 уступы поверхности выработки;
5 вмещающие породы;
6 чувствительные элементы системы;
7 помехозащищенные кабели;
8 микшер;
9 персональный компьютер

частности, в Подмосковном бассейне на целики у выработок приходится почти три четверти пожаров. Преобладает такой тип пожаров на шахтах Урала и Приморья [14, стр. 36].

В случае плоской задачи, т. е. если известно, что горит один пласт, для пеленгации источника сигнала достаточно трёх датчиков. Если же глубина горящего пласта также неизвестна (подразумевается, что горят сразу несколько пластов), то следует использовать более трёх датчиков.

Ситуация, показанная на рисунке 2, может иметь место, как в подземных выработках, так и на открытых разработках, что представляет интерес для проведения тарировочных опытов в полевых условиях [15, стр. 220].

Идентификация очагов пожара при отсутствии возможности установления чувствительных элементов непосредственно в пласт угля

Точность определения координат увеличивается по мере сокращения количества сред, по которым распространяется сигнал от источника до датчиков системы.

Наиболее чёткому восприятию акустической картины процесса могут мешать неучтённые изменения свойств среды, влияющие на скорость

распространения акустического излучения. Для этого следует установить чувствительные элементы системы таким образом, чтобы акустические волны от очага пожара до датчиков системы распространялись по углю и (или) горным породам.

При работе с дневной поверхности и отсутствии возможности доступа до горящего пласта из соседних выработок (рисунок 3) следует пробурить слой четвертичных отложений (чернозём, песок, глину) и, достигнув скальных пород, установить датчики в них или, пробурив скважину до горящего пласта, установить датчики непосредственно в нём или его почве (кровле).

Обозначения на рисунке:

1 дневная поверхность;
2 слой чернозема;
3 слой песка;
4 слой глины;
5–9, 11 слои горных пород;
10 пласт угля или выработанное пространство после извлечения твёрдого горючего полезного ископаемого;
12 очаги эндогенных пожаров;
13 чувствительный элемент системы, установленный в кровле или почве угольного пласта;
14 чувствительный элемент системы, установленный непосредственно в угольном пласте;
15 приспособление для бурения;
16 передвижная станция диагностики подземных пожаров;
17 чувствительный элемент системы, установленный в горных породах вдали от угольного пласта

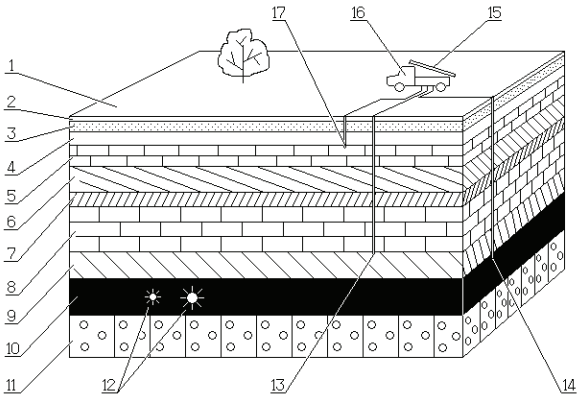


Рис.3 Схема проведения диагностики подземного пожара с дневной поверхности

## ОЦЕНКА ПРИМЕНИМОСТИ СПОСОБА АКУСТИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ОЧАГОВ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ

В работе [16, стр. 5] отмечено: «<...> *реальная геологическая среда является неоднородной по своему составу и физико-механическим свойствам, как по вертикали, так и по латерали. Упрощение схемы строения такой среды и её отображение в виде модели – неизбежный и необходимый этап любых геофизических исследований*». Поэтому вместо строгого расчёта допустима приближённая оценка изменения амплитуды сигналов $A(x)$ при распространении акустического излучения по угольному пласту и в массиве горных пород по выражению [17, стр. 25]

$$A(x) = (A_0/x^n)e^{-\alpha x}, \qquad (1)$$

$A_0$ – амплитуда источника колебаний;

$x$ – расстояние от источника колебаний до точки, в которой определяется амплитуда;

$n$ – показатель степени; $n = 0$ для плоской волны, $n = 0{,}5$ для цилиндрической волны и $n = 1$ для сферической волны;

α – коэффициент затухания акустического излучения в среде.

Коэффициент затухания акустического излучения в угле, согласно [16, стр. 57], для полученных в экспериментах настоящей работы значений частоты составляет $10^{-2}$–$10^{-1}$ м$^{-1}$. Если принять, что распространение волн происходит по сфере, т. е. в формуле (1) $n = 1$, то на базе, равной 100 м, произойдёт уменьшение амплитуды в 270 – $2{,}2 \cdot 10^6$ раз, на базе, равной 1000 м, при благоприятных условиях – примерно в $2{,}2 \cdot 10^7$ раз.

Полученные в экспериментах настоящей работы акустические сигналы, возникающие вследствие трещинообразования при горении угля, обладают амплитудой в десятки условных единиц, что позволяет регистрировать их даже при гораздо большем ослаблении сигнала. Поскольку чувствительность регистрирующей аппаратуры определяется внутренними шумами [18, стр. 593], значение которых зависит от качества изготовления приборов [19, стр. 97], современная техника, обладающая высокой чистотой, позволяет регистрировать акустические импульсы, возникающие при горении, на расстоянии сотен метров от источника.

Таким образом, представленный в настоящей работе способ акустической идентификации горения угля по установленным в процессе предварительной тарировки особенностям акустических сигналов, возникающих при горении, даёт возможность диагностировать очаги пожаров в угольных пластах на базе в сотни метров.

## НАПРАВЛЕНИЕ ДАЛЬНЕЙШИХ ИЗЫСКАНИЙ

При явной возможности запеленговать очаг пожара в глубине угольного пласта посредством регистрации акустических импульсов указанный способ напрямую не отвечает на ряд важных вопросов. К таким вопросам относятся: определение стадии пожара, идентификация геометрии очага и распространение фронта горения (его скорость и направление). Следует отметить, что ответы на эти вопросы требуют длительного времени наблюдения, когда можно сравнивать результаты текущих измерений с полученными ранее. При этом точность определения величин тем выше, чем дольше период наблюдения.

Разработка систем обнаружения пожара по предложенному способу при проектировке строящихся угледобывающих предприятий резонна, но для оперативного определения координат очагов пожаров в глубине угольного пласта на действующих шахтах желательно свести период наблюдений к минимуму. Желательно иметь результат в виде точных координат очага пожара в ту же рабочую смену, в которую начаты необходимые измерения для получения соответствующих данных. Следует отметить, что перед собственно проведением измерений требуется провести некоторые подготовительные работы (расчистка доступа до поверхности обнажения, подготовка этой поверхности, установка чувствительных элементов, настройка аппаратуры). Идеальным является вариант, при котором все эти подготовительные работы также осуществляются в день получения готового результата. Отработкой такого варианта и осуществляется в настоящее время.

## ВЫВОДЫ

- Предложен способ диагностики очагов пожаров в угольных пластах посредством регистрации акустических импульсов, позволяющий определять координаты очагов пожара.
- Планируется модернизировать предложенный способ таким образом, чтобы все необходимые измерения можно было сделать с одной точки на поверхности обнажения пласта. В дальнейшем предполагается осуществлять диагностику подземного горения с дневной поверхности.
- В ближайшее время намечается апробация предложенного способа для диагностики очагов пожаров в угольных пластах на угледобывающих предприятиях Украины.

## 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.
2. Осипов С.Н., Егоров В.А., Греков С.П. О трудоёмкости ликвидаций подземных аварий// Известия вузов: Горный журнал. – 1972. – №4. – С. 71–75.
3. Пугачев Е.В., Червяков А.Е. Автоматизированная система распознавания и локализации подземных пожаров на ранних стадиях с применением современных технических средств// Матер. Межд. научно-практ. конф. «Наукоёмкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов»: сб. науч. ст. СибГИУ// Под ред. В.Н. Фрянова, Е.В. Пугачева. – Новокузнецк, 2005. – С. 138–140.
4. Сурначев В.А., Зырянов К.В. Определение экономического ущерба от эндогенного подземного пожара// Безопасность труда в промышленности. – 1973. – №6. – С. 39–41.
5. Борисенко Д.И. Возникновение акустических импульсов в угле при различных воздействиях// Деп. в ГИАБ. – 2007. – №5. – 10 с.
6. Бауков Ю.Н., Колодина И.В. Методы и средства геоконтроля: Методические указания по проведению лабораторных работ. Метод. пособ. для вузов. – М.: Изд-во МГГУ, 2003. – 80 с.
7. Берон А.И., Ватолин Е.С., Койфман М.И., Мохначев М.П., Чирков С.Е. Свойства горных пород при разных видах и режимах нагружения/ Под ред. А.И. Берона. – М.: Недра, 1984. – 276 с.
8. Анцыферов М.С., Анцыферова Н.Г., Каган Я.Я. Сейсмоакустические исследования и проблема прогноза динамических явлений. – М.: Наука, 1971. – 136 с.
9. Техника контроля напряжений и деформаций в горных породах/ Отв. ред. чл.-корр. АН СССР В.В. Ржевский. – Л.: Наука,1978. – 230 с.
10. Ямщиков В.С. Методы и средства исследования и контроля горных пород и процессов: Учебник для вузов. – М: Недра, 1982. – 296 с.
11. Стаховская З.И. К вопросу возникновения предвестников разрушения в лабораторных условиях// Физика горных пород при высоких

давлениях: Сб. науч. тр. – М.: Наука, 1991. – С. 108–114.

12. Дяконюк В.А. Амплитудно-частотные характеристики акустического сигнала, прошедшего через выбросоопасную породу// Уголь Украины. – 1991. – №2 (410). – С. 34–35.
13. Анцыферов М.С. Теория геофонов и виброметров звукового диапазона. – М.: Наука, 1976. – 144 с.
14. Отчёт о НИР (заключительный) Разработка технологических схем по ведению очистных работ на мощных самовозгорающихся и газообильных пластах в сложных горно-геологических условиях/ Н.Л. Разумняк, Л.Н. Гапанович, А.В. Брайцев. – Люберцы, 1993. – 81 с.
15. Кусов Н.Ф., Борисенко Д.И. Методика проведения экспериментального исследования возникновения акустических импульсов в угольном пласте при его горении// Науч. сообщ./ ННЦ ГП – им. А.А. Скочинского. – М., 2007. – Вып. 333. – С. 220–221.
16. Кондратьев О.К. Сейсмические волны в поглощающих средах. – М.: Недра, 1986. – 176 с.
17. Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л. Акустический метод исследования скважин. – М.: Недра, 1978. – 320 с.
18. Политехнический словарь/ Гл. ред. акад. А.Ю. Ишлинский. – 2-е изд. – М.: Советская энциклопедия, 1980. – 656 с.
19. Туричин А.М. Электрические измерения неэлектрических величин. – 2-е изд., перераб. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1954. – 292 с.