УДК 622.82

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАТУХАНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПЕЛЕНГАЦИИ ОЧАГОВ ПОЖАРОВ В УГОЛЬНЫХ ПЛАСТАХ В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Борисенко Д.И[1]., Азаренко В.А.[2]

[1]*Московский государственный университет технологий и управления им.К.Г.Разумовского, Москва, Россия*
[2]*Институт горного дела им.А.А.Скочинского, Люберцы, Россия*

АННОТАЦИЯ

В данной работе описывается эксперимент по сопоставлению затухания акустических волн, вызванных механическими ударами и горением, в лабораторных условиях.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее опасных и дорогостоящих явлений в угледобывающей промышленности остаются подземные пожары. Основная проблема заключается в отсутствии способов определения координат очагов подземных пожаров с точностью, необходимой для эффективного проведения противопожарных мероприятий. Наиболее перспективным путём пеленгации очагов пожаров в угольных пластах является диагностика по акустическому излучению [1].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОПИСАНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЕРИМЕНТА

В работе [2, 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 при распространении акустического излучения по угольному пласту и в массиве горных пород по [3, стр. 25]:

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

где A(x) – амплитуда акустической волны на расстоянии x от источника колебаний;

A_0 – амплитуда источника колебаний;

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

α – коэффициент затухания акустического излу-чения в среде;

n – показатель степени, n = 0 для плоской волны, n = 0,5 для цилиндрической волны и n = 1 для сферической волны.

При рассмотрении распространения акустического излучения в качестве информационного признака для диагностики очагов пожаров одной из ключевых характеристик является затухание. Для исследования этой характеристики акустических импульсов, вызванных горением, была проведена настоящая работа. Её целью являлось проведение экспериментального сопоставление затухания акустических волн для двух случаев: механических ударов и горения. Угольный пласт, являясь осадочной горной породой, представляет сбой слоистую систему, кроме того он горюч. Этим условиям отвечает древесина в форме плоской длинной доски, слои которой параллельны широким граням доски. В рамках данной работы моделирование проводилось на сухой сосновой доске размерами 4×21×614см. Схема эксперимента представлена на рис.1.

Воздействие механическим ударом и огнём (1) оказывалось на торец доски (2), расположенной во избежание появления лишних акустических волн, вызванных взаимодействием с твёрдыми поверхностями, на подвесах (3). В специальных вырезах (4) на боковой поверхности доски устанавливались акустические датчики ДН-3-М1 (5 и 7 – соответственно дальний и ближний от зоны воздействия). Сигнал с датчи-

© Борисенко Д.И., Азаренко В.А.

ков поступал на компьютер (6), где происходила его запись и последующая обработка.

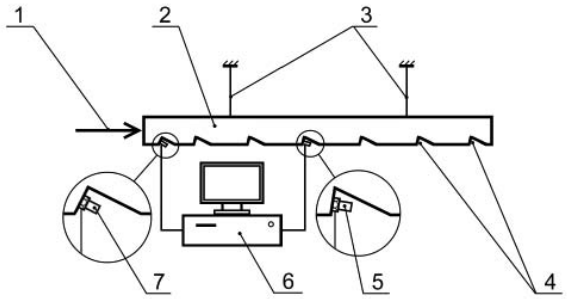

Рис.1 Схема проведения эксперимента: 1 – воздействие; 2 – доска; 3 – под весы; 4 – вырезы в доске; 5 – «дальний» акустический датчик; 6 – компьютер; 7 – «ближний» акустический датчик.

Ближний датчик на протяжении всего эксперимента находился на расстоянии x_0 = 0,4м от зоны воздействия. Зона воздействия при механических ударах имела линейные размеры субсантиметрового диапазона и находилась в центре торца доски, т.е. была плоской, причём ориентирована перпендикулярно максимальному линейному размеру доски. Линейные размеры очага горения в экспериментах составляли несколько сантиметров и максимальный из них – поперечный горизонтальный – не превышал 4см. Положение дальнего датчика x менялось в процессе эксперимента и составляло 1м, 2м, 3м, 4м, 5м и 6м. Таким образом, каждый акустический импульс регистрировался двумя датчиками: на расстоянии x_0 и x. Под затуханием понималось уменьшение отношения амплитуд сигналов, взятых на варьируемом расстоянии (x) от зоны воздействия и непосредственно вблизи этой зоны (x_0).

В условиях реального угольного пласта распространение акустических волн имеет цилиндрическую форму. Поэтому поверхности вырезов (позиции 4 на рис.1), непосредственно на которых располагались датчики, были ориентированы строго перпендикулярно расстояниям от центров этих поверхностей до центра торца доски, на который оказывалось воздействие.

Для получения удара максимально близкого к упругому с одной стороны и сохранения всех прочих равных условий по сравнению с воздействием огнём удары наносились металлическим ударником.

Поджиг древесины осуществлялся поднесением открытого пламени горящей парафиновой свечи непосредственно к середине торца доски. Для анализа акустических импульсов, вызванных горением, выбирались временные интервалы, на которых реализовывалось самостоятельное горение древесины, т.е. такое, при котором свеча удалялась из зоны проведения эксперимента.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате проведенных измерений были получены изменения отношений амплитуд сигналов, регистрируемых на расстоянии x = 1, 2, 3, 4, 5 и 6м для механических ударов и соответственно 1, 2, 3, 4 и 5м для самостоятельного горения к амплитудам сигналов, зарегистрированных на расстоянии x_0 = 0,4м. Графическое изображение этих отношений приведено на рис.2.

Как видно из графиков, затухание акустических импульсов, вызванных горением, выше, чем им-пульсов, возникающих в результате механических ударов. В эксперименте, результаты которого представлены на рис.2, акустические импульсы, вызванные горением, характеризуются более высокими частотами, чем импульсы, возникающие при механических ударах. Соответственно коэффициент затухания акустического излучения в среде (α) в формуле (1) для горения больше, чем в случае ударов.

Для проверки применимости формулы (1) к описанию экспериментальных данных, полученных в настоящей работе, было проведено их сопоставление со значениями, рассчитанными по этой формуле. На рис.2 результаты этого расчёта представлены пунктиром. Значения коэффициента затухания акустического излучения в среде (α) и показатель степени (n) при расчёте для механических ударов принимались α = 0,01 и n = 0,5, а для горения – соответственно α = 0,65 и n = 0,5.

Можно видеть, что, начиная с x = 2м расчёт по формуле (1) даёт удовлетворительное согласование с экспериментом, по крайней мере, на длине использовавшейся доски.

По-видимому, распространение акустических волн зависит от механизма их возникновения. При точечном упругом ударе волна сжатия распространяется по сфере изотропно

насколько это позволяет среда, и регистрация её на одном из направлений (в описываемом эксперименте – по доске) чётко локализована во времени.

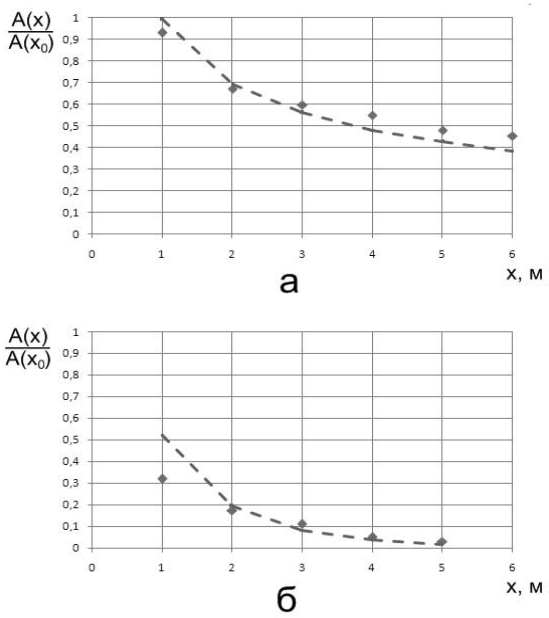

Рис.2 Отношение амплитуды сигнала, регистрируемого на расстоянии x от зоны воздействия к амплитуде сигнала, зарегистрированного на расстоянии x_0 = 0,4м (точки – экспериментальные значения; пунктир – расчёт по формуле (1)): а – механические удары стальным ударником; б – самостоятельное горение.

В случае горения акустическое излучение возникает вследствие процесса трещинообразования. Энергия акустических импульсов, исходящих от носика трещины, меньше энергии излучения, порождаемого её берегами, поэтому на значительных расстояниях регистрироваться будут гармоники, соответствующие именно колебаниям берегов трещины. Носик трещины можно рассматривать как точечный источник акустических волн, но колеблющиеся берега трещины также генерируют акустическое излучение, при этом его распространение, по крайней мере, вблизи трещины, имеет приоритетное направление – по нормали от берега. Поскольку в общем случае в угольном пласте (и рассматриваемом эксперименте с доской) ориентация трещин не перпендикулярна максимальному линейному размеру рассматриваемого фрагмента среды (вдоль слоёв: от зоны возникновения трещин до дальнего места установки «дальнего» датчика – 6м), а наоборот, то необходимо учитывать взаимодействие с границами среды. Поскольку скорость роста трещины составляет 30 – 40% от скорости звука в среде, в которой трещины развиваются, имеет значение расстояние от зоны развития трещины до места регистрации порождаемого ей акустического излучения. Однако, на рис.2, заметно, что экспериментальные точки для механических ударов относительно расчётной кривой располагаются выше, чем значения, полученные для горения. Конкретизация условий и составление математической модели процесса составляет перспективы развития в данном направлении.

Таким образом, затухание амплитуды акустических сигналов, вызванных горением, определяется как свойствами горящей среды, так и геометрией акустического канала (угольного пласта).

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисенко Д. И. Акустический способ диагностики очагов пожаров в угольных пластах/ Сб. науч. статей Современная наука 2010 №3(5). – С.81-85.
2. Кондратьев О.К. Сейсмические волны в поглощающих средах. – М.: Недра, 1986. – 176 с.
3. Ивакин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л. Акустический метод исследования скважин. – М.: Недра, 1978. – 320 с.

© Борисенко Д.И., Азаренко В.А.