

14. Техногенные землетрясения / Царев В.П., Повилейко Р.П. // Международный ежегодник "Наука и человечество", – М.: Знание, – 1990. – 398 с.

15. Меры по снижению ущерба от землетрясений / Аптикаев Ф. Ф. // Природные опасности России. – М.: Крук, 2000. – Глава 7. – С. 165-195

16. Сильнейшее техногенное землетрясение на руднике «Умбозеро»: горнотехнические аспекты/ Козырев А.А., Ловчиков. В., Пернацкий С.И., Шершеневич В.А.// Горный журнал. – 2002. – №1. – С.43-49.

17. Криворожский железорудный бассейн / Ю.Г.Вилкул, Н.И.Дядечкин, А.С.Колодезнев и др. // Изд. центр Криворожского технического университета. – 2006. – С.582.

Рукопись поступила 05.10.2015

УДК 622. 834. 52,53

Б.И. Рыбалко, к.т.н., доцент, ведущий научный сотрудник,

В.М. Здециц, д.т.н., доцент, старший научный сотрудник,

Д.Е. Чистяков, старший научный сотрудник,

А.И. Федоренко, старший научный сотрудник,

Т.В. Милейко, инженер I категории

Научно-исследовательский горнорудный институт ДВНЗ «КНУ»,

О.А. Калиниченко, к.г.н., преподаватель КПИ ДВНЗ «КНУ»

ЭКСПЕРТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПО СИГНАЛАМ ЗАПИСЕЙ ГИС

Статья посвящена обработке сигналов сейсмической активности по результатам непрерывного мониторинга геомеханического состояния массива пород в зонах влияния подземных пустот на стыке полей шахт «Артем-1» ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и «Родина» ПАО «Кривбасжелезрудком».

Ключевые слова: мониторинг, экспертная идентификация, значимое событие, геомеханическое явление.

Стаття присвячена обробці сигналів сейсмічної активності за результатами безперервного моніторингу геомеханічного стану масиву гірських порід в зонах впливу підземних пустот та стику полів шахт «Артем-1» ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» і «Батьківщина» ПАТ «Кривбасзалізрудком».

Ключові слова: моніторинг, експерта ідентифікація, значуща подія, геомеханічне явище.

The article is dedicated signal processing seismic activity as a result of continuous monitoring of geomechanical condition of rock massif in zones of influence of underground voids at the interface of the fields of mines, "Artem-1" of PJSC "ArcelorMittal Kryviy Rih" and mine "Rodina" PJSC "Krivoj Rog's Iron-Ore Combine"

Keywords: monitoring, expert identification, significant event, geomechanical phenomenon.

Постановка задачи. Обработки результатов сейсмической активности по результатам непрерывного мониторинга геомеханического состояния массива пород в зонах влияния подземных пустот на стыке полей шахт «Артем-1» ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог» и «Родина» ПАО «Кривбассжелезрудком», на этапе опытной эксплуатации и обучения ГИС включает экспертную идентификацию явлений и программу обучения машинной идентификации на основе методов распознавания образов, корреляционного и регрессионного анализа.

Изложение материала и результаты. Обучение программы автоматической идентификации выполняется по массиву признаков значимых явлений (аргументов) и результатам экспертной идентификации этих явлений (функции). Для процесса обучения использовалась представительная часть массива непрерывной записи. Вторая часть массива использована для проверки автоматической идентификации. Непрерывная цифровая регистрация сигналов трехкоординатного высокочувствительного сейсмозонда выполнялась в октябре-декабре 2015 г., ш. Артем-1, гор.-1045 м, м.о. 247, ЛСП 900.

Пример фрагмента массива, выделенного на этапе предварительной обработки значимых явлений, представлен на рисунках 1 и 2.

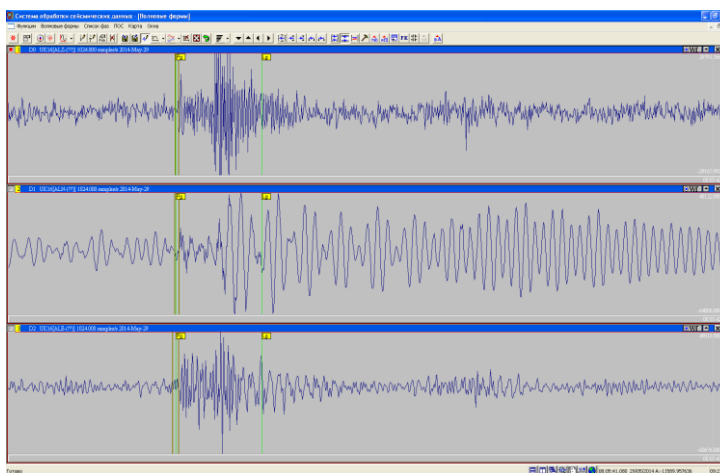


Рис.1. Пример трехкоординатной записи сигнала сейсмического события с четко выраженными вступлениями P_g , S_g и L_g волн

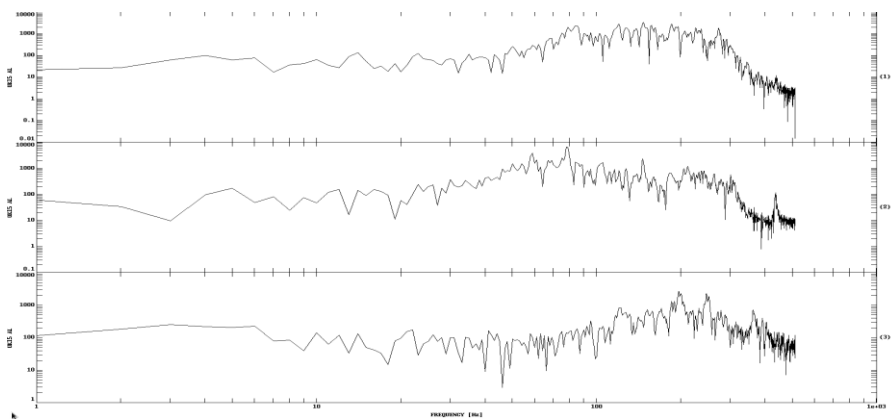


Рис.2. Пример спектров трехкоординатной записи сигнала сейсмического события

Главной проблемой исследования сейсмических событий, и особенно установления (идентификации) физической сущности самого события, является отсутствие доступа не то что к гипоцентру, а зачастую даже в зону проявления событий. Очень ограничено проведение активных экспериментов – возможны только удары мерным образцом, и то только вдоль штрека или орта и возможно проведение взрывов на разных расстояниях, направлениях, горизонтах. Но такие эксперименты дают информацию только о свойствах массива, степени затухания, чувствительности измерительных каналов. Поэтому, для обучающего массива идентификация выполнена экспертным путем. Для повышения достоверности экспертная идентификация явлений осуществлялась параллельно 5-ю способами с последующим коллегиальным принятием окончательного решения. В качестве способов (путей, субъектов) использовались:

1. Результаты записи услышанных специалистами: тресков, щелчков, ударов, вибраций. Наблюдения велись вблизи измерительного зонда сейсмических колебаний. Записи велись на бумагу, с указанием времени, формы проявления и предположительного вида явления. В наблюдении участвовали как специалисты геофизики НИГРИ и ИГФ НАНУ, так и маркшейдеры шахты, владеющие информацией, где могли работать перфораторы, вибролюки, где могли производить взрывы и какие взрывы. Такие записи совмещались по времени с результатами обработки сигналов измерительных зондов.

2. Выводы идентификации геомехаников специалистов лаборатории горных ударов, сдвижения пород и крепления выработок НИГРИ. Идентификация выполнялась по виду записей сигналов сейсмондов и анализу сопутствующей информации.

3. Выводы идентификации геофизиков и сейсмологов специалистов ИГФ НАНУ. Идентификация выполнялась на основе анализа наличия тех или иных волн на записи события. Соответствие наличия волн и вида явления представлено в таблице 3.

4. Информация, представленная работниками шахты о взрывах и замеченных геомеханических событиях.

5. Результаты проведения активных экспериментов.

В ходе экспертной идентификации, кроме анализа наличия тех или иных волн на записи события, использовались и ранее полученные зависимости характеристик сигналов и самих явлений. Зависимость между энергией события и продолжительностью сигнала события представлена на рисунке 3.

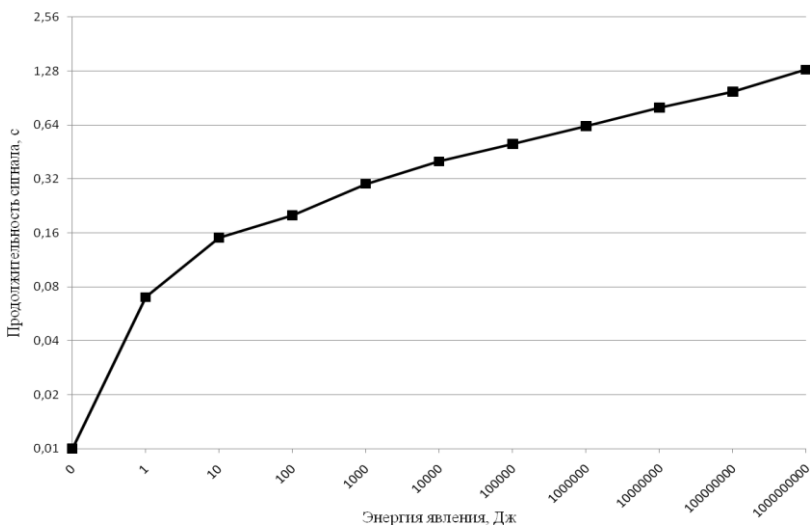


Рис. 3. Зависимость между сейсмической энергией и продолжительностью сигнала

Исходная информация для экспертной идентификации взрывов, собранная по результатам ранее выполненных исследований, представлена в таблице 1. Зависимость между количеством взрываемого ВВ и продолжительностью сигнала взрыва представлена на рисунке 4.

Таблица 1

Соответствие наличия волн и видов взрывов

Характеристики	Длит. сигнала	Типы волн	Примечания
Взрыв	До 2кг	Pg, Lg	Измерение на расст. 120 – 200м
	2кг		
	2-4кг	E 68 Гц	
	4-20кг		
Массовый взрыв на расст. 1км	20-200кг		Измерение на расст. 200-400м
	200-2000кг		
Массовый взрыв на расст. 5км	13 -15с	Группы Lg	Изм. с поверхности на расст. 1000м
	≈ 200т		
Массовый взрыв на расст. 5км	15-30с	Группы Lg	2014 05 29 12.00 ЦГОК, кар. №1
	≈ 200т		
Массовый взрыв на расст. 10км	45с	Группы Lg	AMKP, Кар. №2, 12.00 ЮГОК, 12.00
	≈ 200т		
Массовый взрыв на расст. 30км	60 -80с	Группы Lg	СевГОК, Анн.кр. 15.00 Первм.кр. 13.00
	≈ 200т		

Взрыв 4кг. Видимая частота Z -130Гц, E-68Гц, N-130Гц.

Взрыв 20кг. Z: до20Гц - 300дб, 100 Гц - 7·10⁴ дб, 200 Гц - 7·10⁴ дб. N: до 20Гц - 1·10³дб, 55 Гц - 1·10⁵дб, 70 Гц - 5·10⁵дб.

Массовый взрыв на расстоянии 1км – видимая частота 16Гц.

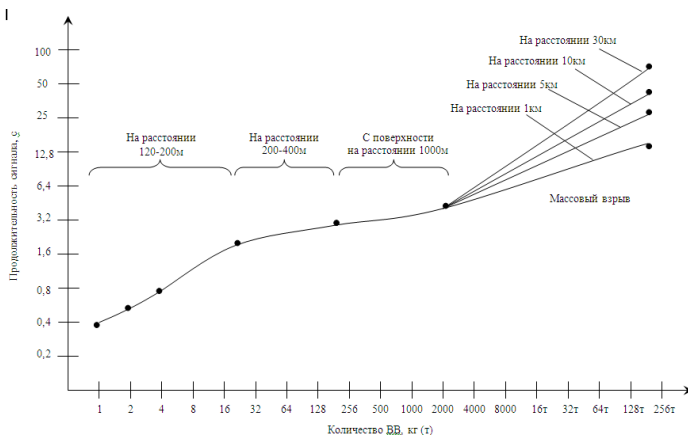


Рис. 4. Зависимость между мощностью взрыва и продолжительности

Идентификация выполнялась в соответствии с представленной в таблице 2 принятой классификацией видов первичного разрушения и форм проявления сейсмических событий.

Таблица 2

К идентификации явлений по наличию сейсмических волн

Вид первичного разрушения	Формы проявления	T, сек	Присущие типы основных волн
1	2	3	4
	Микросейсмы Земли	Постоянно	
Микротрещины	Регистр. ЗИРом	0,01-0,1с	Pg
Трещины	Стреляние, динамическое заколообразование	0,1с	Pg
	Щелчки	0,2с	Pg, Sg
Макротрещины	Микротолчки, микроудары	0,3с	Pg, Sg
	Толчки средней мощности, слабые горные удары	0,4с	Pg, Sg
Разрыв под действием силы тяжести	Обрушения	0,2-0,4с	Pg, Lg
Сложные трещины со смещением	Сильные толчки, горные удары	0,5с	Pg, Sg, Lg

1	2	3	4
Массовое трещинообразование со смещениями и разрывами	Горно-тектонические удары	0,6с	Pg, Sg, Lg
		0,7с	Pg, Sg, Lg
		0,8с	Pg, Sg, Lg
		1с	Pg, Sg, Lg
	Техногенные землетрясения	1-30с	Pg, Sg, Lg
Региональные землетрясения	Землетрясения	30-66с	Pg, Sg, Lg Pn, Sn, P, S, Lq, Lr
			P, PP, PKP, S,SKS Lr, Lq
Взрыв			Pg, Lg
Электровоз			Pg,
Шаги			-
Работы вблизи зонда			-
Массовый взрыв			Группы Lg

Идентификация явлений геофизиками и сейсмологами специалистами ИГФ НАНУ выполнялась по наличию характерных сейсмических волн в сигнале. Присущие типы тем или иным явления группы основных волн представлены в таблице 2.

P-волны – продольные "Первичные" волны, т.е. наиболее быстрые волны, распространяющиеся от источника сейсмических колебаний через горные породы и представляющие собой последовательное сжатие и разрежение материала.

S-волны – поперечные "Вторичные" сейсмические волны, распространяющиеся медленнее, чем P-волны, и состоящие из упругих колебаний, поперечных по отношению к направлению распространения волны. Не проходят через жидкость.

L-волны – волны Лява. Сейсмические поверхностные волны, при распространении которых происходит только горизонтальное смещение частиц перпендикулярно направлению движения волны.

R-волны – волны Рэлея. Сейсмические поверхностные волны, при распространении которых частицы совершают колебания только в вертикальной плоскости, содержащей направление волны. Скорости поверхностных волн меньше скорости поперечных волн.

Волны Pg и Sg распространяются от источника к сейсмической станции по земной поверхности или только в верхней коре. Буква «g» соответствует «гранитному» (верхнему) слою коры. P* и S*, соответственно, обозначают головные волны от границы Конрада. Буква «b» отвечает

названию «базальтовый» (для нижнего слоя коры). Pn и Sn – головные волны от границы Мохоровичича. Буква «n» означает «noritic». Ранее сейсмологи считали, что верхние слои мантии соответствуют материалам габбро (norites). Современные модели верхней мантии предполагают ее оливиновый (peridotitic-eclogitic) состав. PmP и SmS – волны, закритически отраженные от границы Мохоровичича.

Волны Pg и Sg имеют обычно четкое, но не всегда интенсивное начало колебаний с довольно высокой частотой и с постепенным плавным спадом интенсивности. Они хорошо выражены на короткопериодных записях. Их вступления разделены интервалом времени. Группа волн Sg существенно превышает по интенсивности группу волн Pg и является более низкочастотной. Поэтому выделение волн Sg не представляет, как правило, больших трудностей. Волны Pg и Pn наилучшим образом выделяются на вертикальных, а Sg и Sn – на горизонтальных компонентах. Скорость продольных волн может изменяться от ~5 до 8,2 км/с, скорость поперечных волн примерно в 1,73–1,78 раза ниже.

При идентификации сейсмических событий учитывается, что Pg, Sg, Lg волны отличаются по времени прихода и по форме записи. Pg и Sg имеют резкое вступление и между ними практически нет интервала. При малом расстоянии могут накладываться. Lg имеет плавное вступление и растянутый сигнал во времени и частота ниже. Группы Lg волн – набор поверхностных волн, характерных для массовых удаленных взрывов.

Pn, Sn, P, S, Lq, Lr волны присущие классическим землетрясениям (региональные и телесеismicкие).

PKP, S, SKS Lr, Lq Волны присущие очень далеким землетрясениям Япония, Чили (телесеismicкие).

Под первым вступлением понимают смещение записи на сейсмограмме в момент прихода продольной волны. Сейсмографы устроены так, что движение кривой сигнала вверх обычно указывает на сжатие горных пород, движение вниз – на разрежение. При идентификации использовались и другие характеристики сигнала, как частотные, форма огибающей сигнала, отношение длительности к энергии сигнала, отношение первого и второго максимумов спектральной плотности и др.

Выводы. Результаты идентификации по всем 5 способам совмещались с записью сигналов сейсмозондов, анализировались и коллективно принималось обобщающее решение для заполнения обучающего массива видов явлений и признаков этих явлений. Пример фрагмента результатов экспертной идентификации представлен в таблице 3. Результаты идентификации наряду с параметрами сигналов, полученными в ходе предварительной обработки (15 параметров) использовались в обучающей программе автоматической идентификации зарегистрированных явлений.

Таблица 3

Пример фрагмента результатов экспертной идентификации

Время по Гринвичу (местное ±3ч)	Модуль вектора	T, с	R, км	Экспертная идентификация испытателей*	Экспертная идентификация геомехаников**	Экспертная идентификация сейсмологов ИГФ***	Экспертная идентификация геофизика****
11 37 45,198- -11 37 45,878	392680	0,68	1,73	Сильный толчок	Щелчок	Щелчок наличие трех волн, длительность не более 0,5-0,7с; частота 60-80 Гц	Сейсмическое событие
11 38 27,236- -11 38 27,839	527292	0,559	1,061	Сильный толчок	Два события в глубине массива, одно вызвало другое через 0,05 сек.,	Два щелчка в глубине массива с интервалом первых вступлений в 0,044с	Сейсмическое событие
11 48 29,140- -11 48 29,942	5714504	0,802	0,14	Взрыв 4 кг ВВ	Взрыв с последующими обрушениями пород (обрушение); последовательность событий длительностью более 0,8с	Взрыв	Взрыв малой мощности
12 03 22,028- -12 04 13,789	1 775 092	51,761	29,161	Массовый взрыв в карьере	Причина находится за пределами горного отвода ШУ	Поверхностные волны удаленного взрыва	«Шубин»
12 10 04- -12 23 14	187675			Электровоз	Технологический шум	Технологический шум	Технологический шум
12 50 12,450 12 50 12,979	478562	0,529		Сильный толчок далекий.	Удар	Щелчок	Сейсмическое событие

Рукопись поступила 04.07.2015