

УДК 622.25:502.5

МОНИТОРИНГ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОГНОЗ ГЕО- И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Захаров В. Н.

(УРАН ИПКОН РАН, г. Москва, Россия)

У роботі розглянуто питання організації і проведення моніторингу сейсмоакустичних процесів при підземній розробці родовищ.

The paper deals with the problems related to organizing and conducting of monitoring of seismic-acoustic processes during underground exploitation of deposits.

Гео- и газодинамические явления (ГДЯ) происходили и происходят практически на всех угольных месторождениях мира. В последние годы отмечается тенденция увеличения числа и мощности ГДЯ на шахтах России. Эти явления сопровождаются обильным газовыделением и угрозой загазирования горных выработок, выносом угольной мелочи, т.е. приводят к последствиям, характерным для внезапных выбросов угля и газа. На шахтах Кузбасса, Печорского и Карагандинского бассейнов только за период 1986 - 2005 г.г. произошло 158 газодинамических явлений.

При высоких скоростях подвигания очистных и подготовительных забоев все геомеханические процессы, происходящие в массиве горных пород, связанные с проявлениями горного давления, деформациями, разрушением, газовыделением, приобретают более резкий динамичный характер, повышается риск возникновения гео- и газодинамических явлений.

В связи с этим задачи теоретического и экспериментального исследования процессов формирования геодинамических опас-

ных зон в массиве горных пород и разработки фундаментальных основ мониторинга гео- и газодинамических явлений при горных работах являются весьма актуальными.

При анализе методов мониторинга состояния массива применительно к современным задачам прогноза гео- и газодинамических явлений, с учетом их специфики, о которой было сказано выше, должны предъявляться следующие требования:

– методы и аппаратура должны обеспечивать возможность осуществлять контроль состояния призабойной зоны дистанционно и непрерывно;

– методы должны иметь возможность применения в автоматизированных системах, а информативные прогностические показатели обеспечивать надежную их интерпретацию.

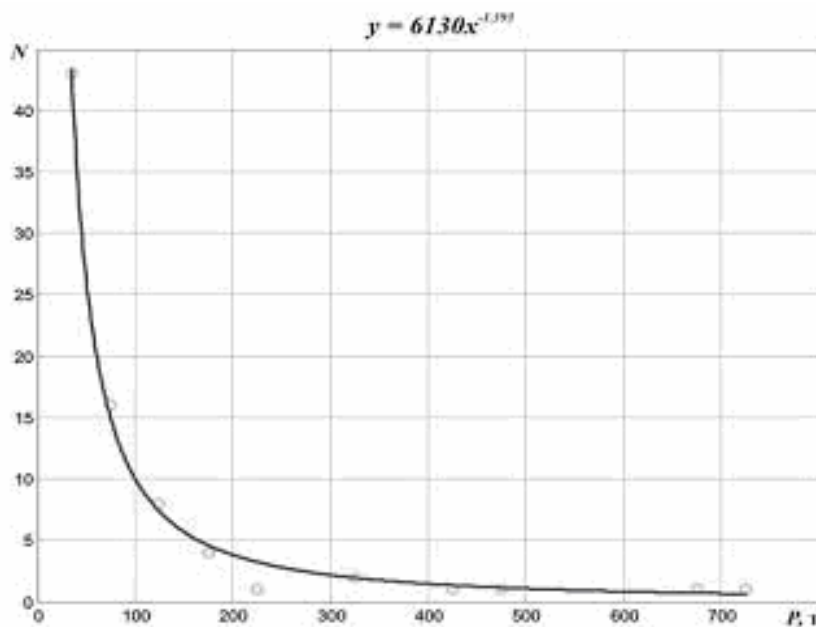
Среди геофизических методов мониторинга состояния массива горных пород с целью прогноза опасности внезапных выбросов и горных ударов наилучшим образом отвечают вышеперечисленным требованиям сейсмический мониторинг низкочастотных высокоэнергетических событий при разрушении пород кровли (более 10^3 Дж), сейсмоакустический мониторинг пассивной акустической эмиссии в ближних зонах ведения горных работ при разрушении угольных пластов и пород кровли, а также активный сейсмоакустический мониторинг амплитудно-частотных спектров зондирующего массив горных пород сигнала от горного оборудования и буровзрывных процессов.

Для повышения точности прогноза на выбросоопасных пластах, необходим амплитудно-частотный анализ естественных сейсмоакустических импульсов и колебательных процессов от активных источников, который позволит оценить энергетические параметры разрушений в горном массиве и изменения напряженного состояния углепородного массива в процессе выемки угля. Кроме того, основной нерешенной проблемой прогноза гео- и газодинамических явлений с использованием геоакустических методов остается установление информативных геофизических параметров на стадии подготовки выбросоопасной ситуации и определения их критериальных значений.

Определено, что степень риска газодинамических явлений в связи с широким диапазоном изменения их силы необходимо

оценивать не только частотой (вероятностью) их проявления в пространстве и времени, но также и силой динамического явления, измеряемой в тоннах выброшенного угля (породы) и в м³ выделившегося газа, от которых напрямую зависит величина наносимого ущерба.

Установлена закономерная взаимосвязь между частотой проявления динамических явлений в шахтах и их силой, описываемая эмпирической степенной функцией распределения $N=6130P^{-1,393}$, где N-число динамических явлений, P-сила динамических явлений, измеряемая количеством выброшенного угля (породы) в тоннах (рис. 1).



N – число газодинамических явлений,
P – сила газодинамического явления

Рис. 1. Эмпирическая функция распределения (закон повторяемости) силы газодинамических явлений в Кузбассе и Воркутинском месторождении в период 1975 – 2003 г.

Анализ экспериментальных и теоретических исследований показывает, что частота (вероятность) проявления динамических явлений в массивах горных пород достигших критически опасных значений геознергии определяется вместе с тем не только

достигнутым уровнем потенциальной геознергии, но и в большей мере условиями высвобождения геознергии, которые зависят от неоднородности строения и свойств массива (геологические нарушения), а также технологии ведения горных работ (скорости подвигания забоя, глубины захвата при выемке, силового воздействия на массив проходческими или очистными комбайнами или буровзрывными работами).

Для изучения механизма формирования опасной по динамическим явлениям ситуации, возникающей при проведении горных выработок, выполнен анализ комплекса геомеханических и геофизических исследований. Как правило, в зоне высокой опасности и перед динамическими явлениями происходит сокращение протяженности области разгрузки (трещиноватости, спада напряжений) l_k и рост концентрации напряжений в зоне ПГД (рис. 2). Эффект задержки деформаций и возрастания концентрации напряжений в призабойной части массива чаще всего наблюдается при ведении горных работ в зонах влияния мелкоамплитудной тектонической нарушенности, которая формирует вокруг себя зоны повышенного горного давления.

В качестве первичных геомеханических показателей возникновения очагов опасности геодинамических явлений, происходящих в призабойной зоне массива при проведении горных выработок можно выделить рост коэффициента концентрации напряжений k в зоне ПГД ($k = \sigma_{1max} / \sigma_0$, где σ_{1max} – максимальные напряжения, σ_0 – напряжения в массиве вне зоны влияния горной выработки) и сокращение размеров «буферной зоны» (зоны спада напряжений) l_k между поверхностью движущегося забоя.

По данным геофизических наблюдений выбросоопасные и удароопасные зоны горного массива характеризуются повышением уровня акустической эмиссии и изменением коэффициента или декремента поглощения упругих волн (рис. 2).

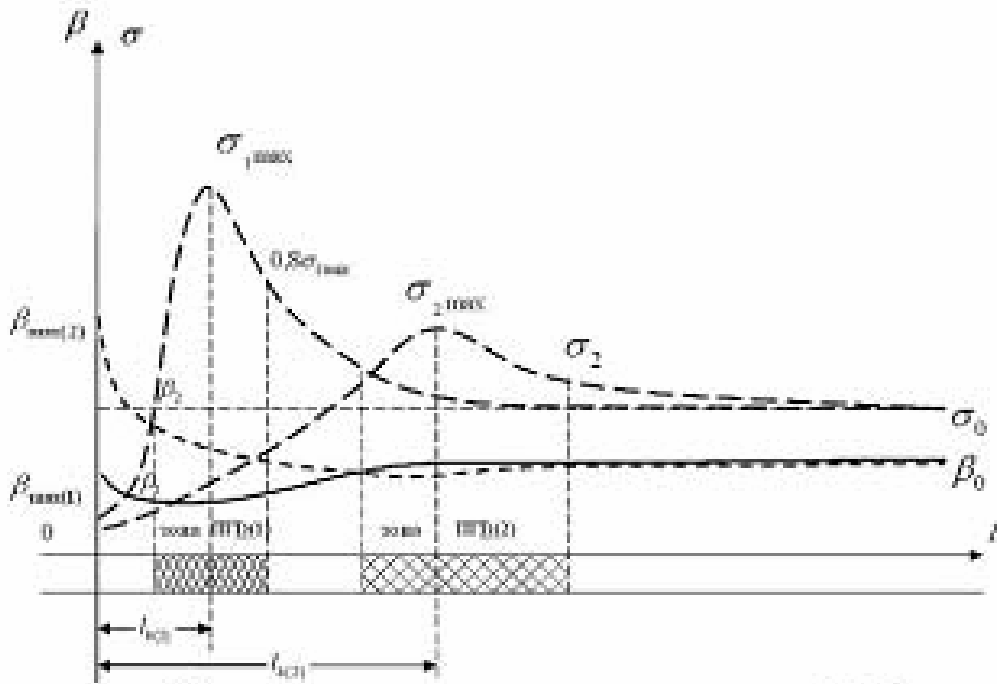


Рис. 2. Схема изменений напряжений (σ) и декремента поглощения упругих акустических волн β в функции напряжённого состояния призабойной части пластов в опасных (1) и неопасных зонах (2)

Проходка горных выработок сопровождается акусто-вибрационным колебательным процессом углепородного массива в зоне ведения горных работ.

В качестве объекта расчетов выбраны горно-геологические условия шахты Первомайская (северная часть Кузнецкого угольного бассейна). Шахта разрабатывает угольные пласты опасные по внезапным выбросам и горным ударам угля породы и газа. Углепородный массив имеет весьма разветвленную и достаточно интенсивную тектоническую нарушенность, что является дополнительной причиной возникновения горных ударов и внезапных выбросов.

В таблице 1 представлены литологическая колонка и основные физико-механические и акустические свойства угля и вмещающих пород на данном участке. Модель, исследуемого участка, показана на рис. 3 в виде вертикального геологического разреза угольного пласта, в котором пройдена частично закрепленная горная выработка, и вмещающих пород в соответствии с литоло-

гической колонкой. Горная выработка по своим геометрическим размерам захватывает угольный пласт и расположенный в непосредственной кровле алевролит. Вокруг горной выработки присутствует зона разгрузки, характеризующаяся пониженными скоростями и повышенным затуханием. Расположение источников и приемников колебательного процесса, также показано на рис. 3.

Таблица 1
 Шахта Первомайская, пласт XXVII, 726 лава, Северный Кузбасс

Тип пород	H, м	ρ , г/см ³	V_s , м/с	V_p , м/с	μ , МПа	λ , МПа	α
Песчаник	∞	2,58	2432	4329	7086	8280	0,002
Алевролит	1,5	2,67	2042	3635	5050	5903	0,003
Уголь	2,0	1,3	1415	2452	2472	2479	0,01
Алевролит	1,0	2,67	2042	3635	5050	5903	0,003
Песчаник	∞	2,58	2754	4329	7086	8280	0,002

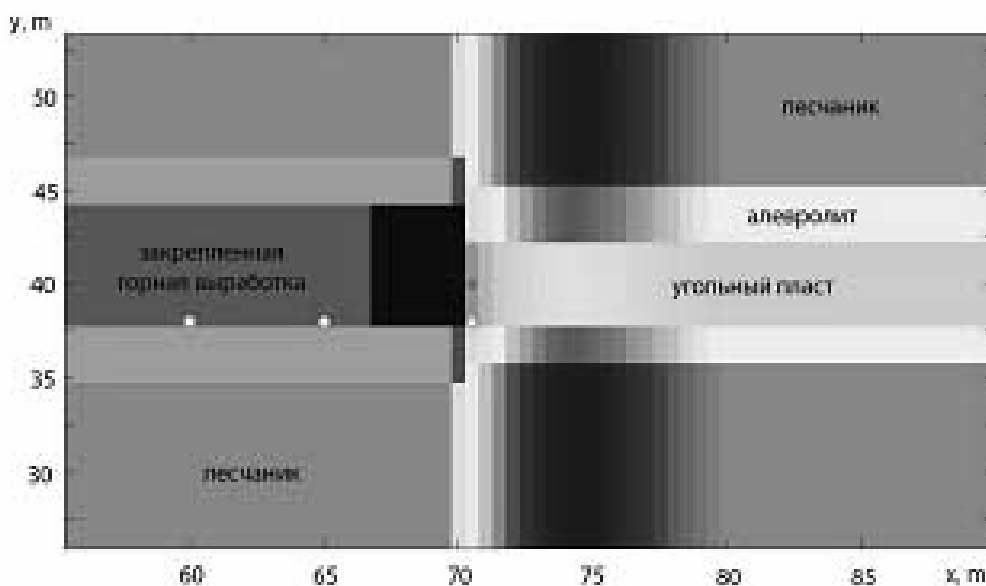


Рис. 3. Расположение источников и приемников колебательного процесса

В данной работе рассматривается влияние крутизны и ширины эпюр напряжений при отработке пласта в зоне ПГД на аку-

сто-вибрационные колебания. Варианты задания зон ПГД представлены на рис. 4. Ноль по шкале абсцисс соответствует забою.

По шкале ординат процентное изменение кинематических параметров. Ноль по оси ординат соответствует значению кинематических параметров вне зоны влияния горной выработки.

Изменение динамических характеристик происходит по этим же эшюрам от -3 до +2,5 раз.

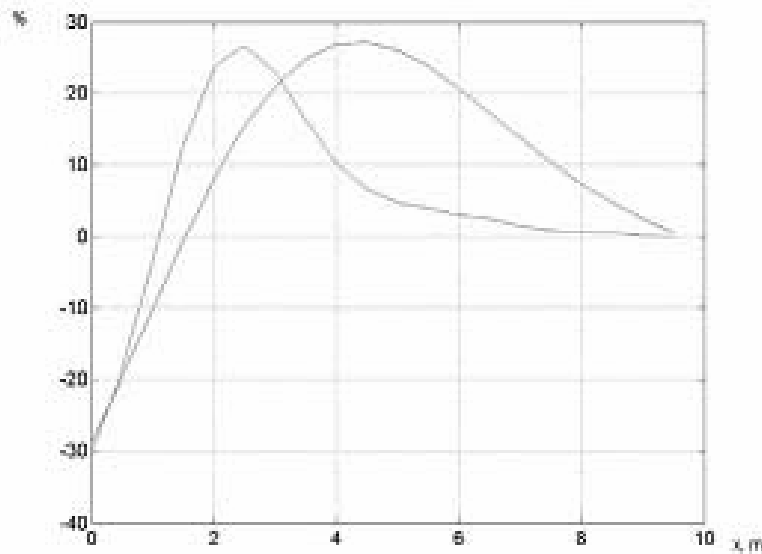


Рис. 4. Кривые изменения кинематических параметров (V_p , V_s) в зонах ПГД 1 и 2

Широкополосный источник колебательного процесса расположен в центре угольного пласта на расстоянии 0,5 м от забоя. Максимум спектра расположен на частоте порядка 3000 Гц. Ширина спектра на уровне 0,6 от максимума составляет порядка 4700 Гц. В процессе моделирования рассматривалось два варианта подвигания забоя: с образованием зоны трещиноватости и без. В таблице 2 приведены результаты расчетов.

Серия расчетов, выполненных для описанной выше схемы моделирования, показала влияние места расположения аномальной зоны на спектральный состав колебательного процесса, регистрируемого в горной выработке.

Влияние зоны ПГД на амплитудно-частотные характеристики выражается в виде перераспределения колебаний между отдельными составляющими спектра (рис. 5 а-в).

По мере приближения к максимуму эпюры НДС высокочастотная составляющая спектра постепенно усиливается, а низкочастотная ослабевает. Наблюдается увеличение амплитуды колебаний, а соответственно и энергии. При входе в зону ПГД с увеличением кинематических характеристик на 10 % и уменьшением динамических в два раза колебательный процесс переходит в режим резонансных колебаний (рис. 5 в, г) и процесс становится неуправляемым. Как и следовало ожидать, зона трещиноватости влияет на затухание колебаний и, как следствие, на уменьшение энергии вне зоны ПГД. При входе в зону ПГД и раскачки системы зона трещиноватости практически не влияет на величину энергии.

Таблица 2

Результаты расчётов

	Положение СП		5 м			10 м		
	Положение забоя		0 м	2 м	4 м	0 м	2 м	4 м
Кривая 1 рис. 5	Без зоны трещиноватости	Е, у.е.	25	60	667	25	78	823
		А _{max} , у.е.	8	30	452	15	39	634
		F _{max} , Гц	281	342	660	293	379	660
	С зоной трещиноватости	Е, у.е.	12	31	80	8	13	566
		А _{max} , у.е.	5	19	49	4	6	438
		F _{max} , Гц	220	293	660	220	293	660
Кривая 2 рис. 5	Без зоны трещиноватости	Е, у.е.	164	345	96	69	1464	164
		А _{max} , у.е.	88	257	48	30	1130	118
		F _{max} , Гц	293	660	574	293	660	600
	С зоной трещиноватости	Е, у.е.	18	35	47	10	19	17
		А _{max} , у.е.	8	18	22	5	8	7
		F _{max} , Гц	293	281	330	245	318	330

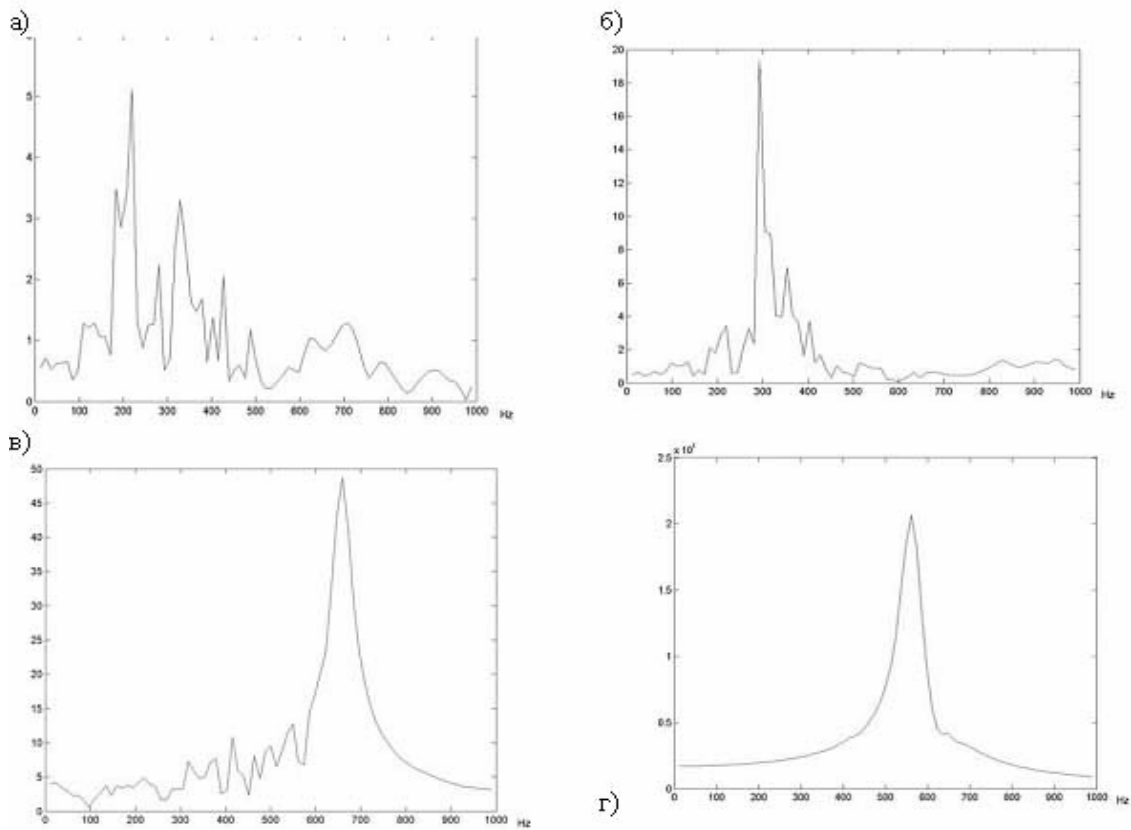


Рис. 5. Спектры колебательного процесса для различных положений забоя относительно зоны ПГД: а) 0 м; б) 2 м; в) 4 м; г) 6 м

Установлено что влияние крутизны эпюр НДС на характер колебательного процесса несравнимо мало по сравнению с влиянием расстояния до максимума концентрации напряжений в зоне ПГД.