

УДК 622.831.3:531.36

А.Н. Шашенко, д-р техн. наук, проф.,
В.Н. Журавлев, канд. техн. наук,
старш. научн. сотр.,
Е.В. Масленников, канд. техн. наук,
старш. научн. сотр.,
М.С. Дубицкая

Государственное высшее учебное заведение “Национальный горный университет”, г. Днепропетровск, Украина,
 e-mail: shashenko@nmu.org.ua; ws50@i.ua;
 dubitskayam@gmail.com

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ГЕОЛОКАЦИИ

A.N. Shashenko, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
V.N. Zhuravlev, Cand. Sci. (Tech.), Senior Research
Fellow,
Ye.V. Maslennikov, Cand. Sci. (Tech.), Senior
Research Fellow,
M.S. Dubitskaya

State Higher Educational Institution “National Mining University”,
 Dnepropetrovsk, Ukraine, e-mail: shashenko@nmu.org.ua,
 ws50@i.ua, dubitskayam@gmail.com

ANALYSIS OF COAL BEDS STRUCTURE BY THE METHOD OF ACOUSTIC GEOLOCATION

Цель. Разработка мероприятий по эффективной отработке угольных пластов и повышению производительности труда в условиях шахт, опасных по внезапным выбросам угля и газа, и содержащих скрытые геологические нарушения дизъюнктивного типа.

Методика. Использование акустических колебаний в качестве носителя информации о напряженном состоянии и структурной организации обрабатываемого породного массива является наиболее перспективным направлением при исследовании объектов средствами неразрушающего контроля. Это связано с тем, что кинетическая энергия зондирующего сигнала, которая передается в акустическом волноводе, взаимодействует с внутренней потенциальной энергией среды распространения. В зависимости от внутренней энергии волновода изменяется индекс модуляции параметров акустического сигнала. Данный процесс, в зависимости от поставленной задачи, позволяет анализировать параметры напряженности и нарушения целостности обрабатываемого породного массива.

Результат. Получены положительные результаты применения метода и аппаратуры для прогнозирования зон аномальных концентраций напряжений при прохождении выработок в зонах геологических нарушений, для автоматического управления работой проходческих и очистных комбайнов. Надежность метода и аппаратуры акустического контроля, эффективность, универсальность и совместимость с другими техническими средствами позволяют рассматривать данное направление, при условии теоретического обоснования основных параметров распространения акустических колебаний в сложно-структурном породном массиве, как основной для разработки автоматизированных систем геомеханического мониторинга при подземной добыче полезных ископаемых.

Научная новизна. Доказан факт информационной фазовой модуляции низкочастотных огибающих спектральной плотности мощности зондирующего акустического сигнала. Впервые предложено применение метода фазовой демодуляции функции спектральной плотности мощности для акустического контроля и прогнозирования зон аномальных концентраций напряжений при прохождении выработок в зонах геологических нарушений.

Практическая значимость. Разработанная методика проведения исследований подтвердила свою работоспособность в целях обеспечения томографии нетронутой области массива для условий шахты „Днепровская“. В результате проведенных измерений обнаружена граница геологического нарушения и дана характеристика прочностных свойств массива внутри нарушения и вне его. Разработан и изготовлен датчик для проведения измерений применительно к условиям шахты „Днепровская“.

Ключевые слова: *акустический контроль, сложно-структурная породная среда, амплитудно-частотная характеристика*

Актуальность. Для успешного и эффективного решения проблемы подземной добычи угля необходима надежная работа угольных шахт, важным

структурным элементом которой являются подземные выработки.

Важным вопросом обеспечения устойчивости выработок и предупреждения катастрофических проявлений горного давления является оперативный прогноз аномальных зон напряженно-деформированного

состояния (НДС) породного массива, которые возникают в процессе подземной добычи полезных ископаемых – зоны опорного давления очистных забоев, зоны концентрации напряжений вокруг целиков, зоны тектонических нарушений и др.

Возможным эффективным и надежным методом оперативного прогноза НДС массива является метод акустического контроля. Этот подход к оценке НДС нетронутой части породного массива с помощью активного зондирования акустическими сигналами значительно проще как в части обеспечения вычислительным аппаратом, так и в части получения оперативной информации.

Введение. При оценке свойств и состояния массивов горных пород акустическими методами [1–3] процедура измерений и методы их интерпретации должны быть связаны только с реальной структурой массива. Другими словами, для повышения эффективности измерений необходимо обеспечить согласование параметров измерительной системы с характеристиками области исследований (тип неоднородности, ее размеры и т. п.).

Акустические методы представляются наиболее эффективными среди геофизических методов, успешно применяемых для этих целей, поскольку они технологичны, информативны, позволяют оперативно контролировать состояние массива без нарушения его сплошности.

Задача распознавания зон повышенных напряжений вокруг выработки является неотъемлемой частью технологии ведения добычных работ в условиях пересечения зон геологических нарушений и, связанной с этим, опасностью развития газодинамического явления. Это обуславливает необходимость создания методов прогноза, основанных на новых принципах.

Таким образом, работа носит комплексный характер и направлена на решение вопросов обеспечения безопасности работ в условиях газодинамических явлений в угольных шахтах, а также устойчивости выработок при пересечении ими участков массива с аномальным уровнем напряжений.

Постановка задачи. На основе анализа математической модели модуляции полной фазы огибающей волнового пакета, распространяющегося в неоднородном породном массиве [4, 5], рассмотрим результаты экспериментальных исследований адекватности предложенной модели распространения волнового пакета виброакустического зондирующего сигнала.

Оценка состояния исследуемой области путем „прозвучивания“ ее с помощью акустических колебаний подразумевает расположение ее между источником сигнала и датчиком. Такое условие, применительно к существующим технологиям отработки пластов, оказывается практически невыполнимым. Однако, с учетом

слоистой структуры углепородного массива, „уголь-вмещающие породы“, благодаря существенному различию физико-механических свойств этих слоев, оказываются в состоянии принимать сигналы из исследуемой области на значительном удалении от нее (в сторону выработанного пространства) за счет высокой акустической проводимости прочного слоя песчаника либо других вмещающих пород основной кровли, обладающих значительно большей акустической жесткостью по сравнению с углем.

В качестве объекта исследований выбрана лава № 1086, характеризующаяся наличием зон геологических нарушений, удобством проведения акустических измерений с применением аппаратуры АК-1М благодаря наличию пройденных подготовительных выработок по бортовому и сборному штрекам, наличию линии связи.

Наличие пройденных подготовительных выработок вдоль неотработанной части столба позволяет обеспечить возможность его акустического попикетного „просвечивания“ с целью выявления возможных неоднородностей в виде геологических нарушений и локализации места их расположения.

Основная часть. Исследования проводились по подготовленным к измерениям шпурам на пикетах №№ 19,22,25,34,44 (согласно плану отработки лавы). Датчики попарно последовательно переставляются вдоль всей длины лавы в шпуры через равные интервалы. При этом один датчик устанавливался в скважину, другой датчик находится в штреке в зоне действия заряда взрывчатых веществ (ВВ). Шпуры с ВВ и скважины с датчиками расположены соосно (в разумных пределах) по разные стороны лавы. Извлечение датчика из скважины и перенос на новое место осуществляется параллельно с наращиванием линии связи по двум выработкам одновременно. Шпур готовится под следующий заряд ВВ и к нему переносится датчик № 2 со второй линией связи. С одной стороны горного массива, мощностью 287 метров, инициировался волновой пакет методом взрыва ВВ массой 400 гр., время взрыва t_0 фиксировалось датчиком вибраций 1. Функция энергии волнового пакета [6], диспергировавшего в углепородном массиве, фиксировалась приемником – датчиком вибраций 2, расположенном на другой стороне массива.

Сигналы датчиков передавались на поверхность, где синхронно преобразовывались в цифровую форму с параметрами: динамический диапазон квантования 16 бит; частота дискретизации $f_d = 41100\text{Hz}$, и записывались на диск персонального компьютера. Программирование алгоритма обработки производилось в среде пакета программ MatLab. На рис. 1 показана описанная выше схема проведения эксперимента акустическим методом на шахте „Днепровская“.

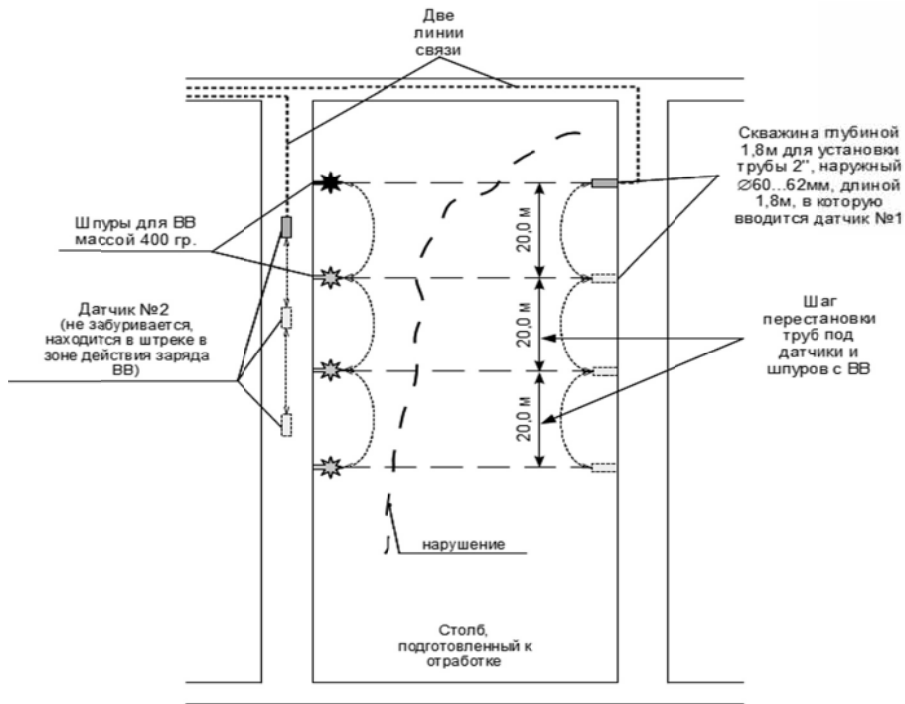


Рис. 1. Схема проведения эксперимента акустическим методом на шахте „Днепровская“

Обработка информации заключалась во взаимной увязке всех полученных данных с целью получения целостной картины процесса изменения напряженного состояния массива и отбора промежутков времени, соответствующих проведению контрольных взрывов в выработке. Этот отбор производился на основании данных, полученных по линиям связи из выработки и зарегистрированных на ПК. Функции принятых сигналов приведены на рис. 2–6, нижний сигнал – датчик вибраций 1, верхний – датчик вибраций 2.

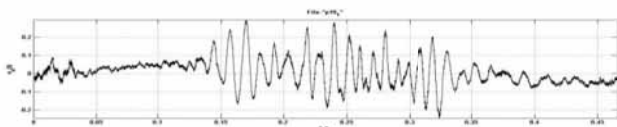


Рис. 2. Функции исследуемых сигналов пикета 19

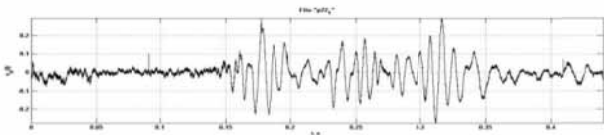


Рис. 3. Функции исследуемых сигналов пикета 22

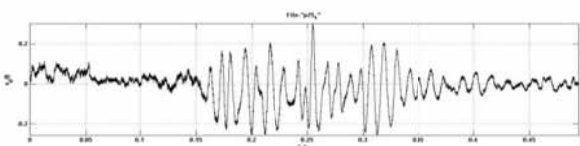


Рис. 4. Функции исследуемых сигналов пикета 25

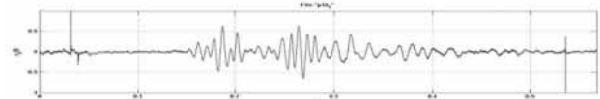


Рис. 5. Функции исследуемых сигналов пикета 34

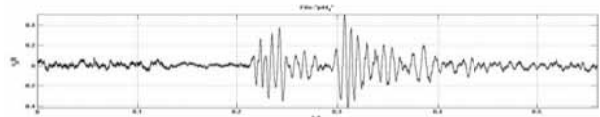


Рис. 6. Функции исследуемых сигналов пикета 44

Анализ графиков датчика вибраций 2 позволяет сделать следующие выводы:

- сигналы содержат 3–4 волновых пакета. Первый является информационным, остальные искажены отражениями от стенок волновода;
- сигналы для всех пикетов отличны друг от друга, что соответствует различным волновым векторам и фазовым скоростям [6] составляющих пакета;
- без расчёта каких-либо параметров очевидно, что сигналы не обладают свойством стационарности, т. е. необходимо учитывать возможную погрешность при применении методов спектрального анализа [7];
- низкочастотная огибающая первого волнового пакета модулирована высокочастотными компонентами, которые несут информацию о неровностях стенок волновода.

Результаты обработки информации, полученной за весь цикл измерений в виде сводного графика изменения свойств вмещающих пород по простиранию массива от 19 по 44 пикет, приведены на рис. 7.

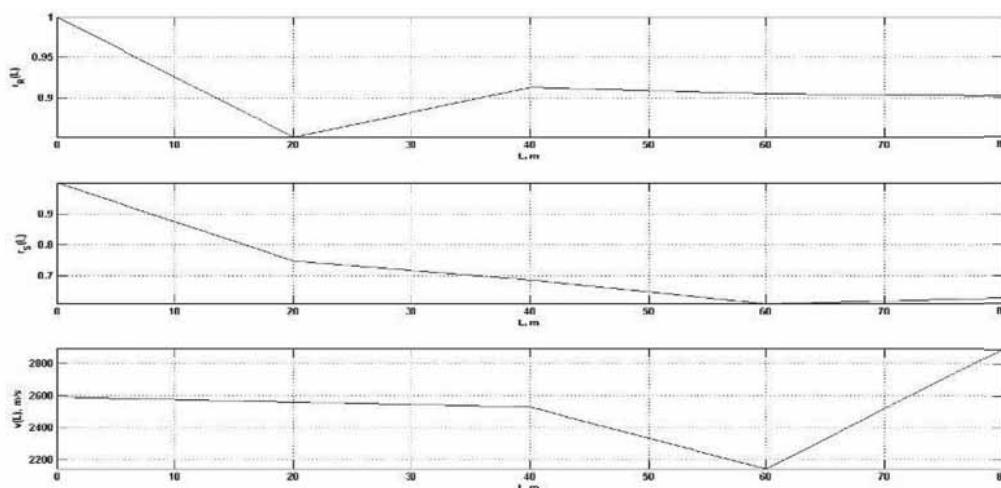


Рис. 7. Сводный график изменения свойств вмещающих пород (по скоростным параметрам – нижний) по простиранию массива от 19 по 44 пикет

На рис. 8 представлена прогностическая модель изменения прочностных свойств породы лавы 1086 в единицах относительной прочности (относительно самого прочного слоя на пикете ПК44), построенная

на основе анализа сводного графика изменения свойств вмещающих пород (рис. 7) по проведенным измерениям по пикетам ПК19-ПК44.

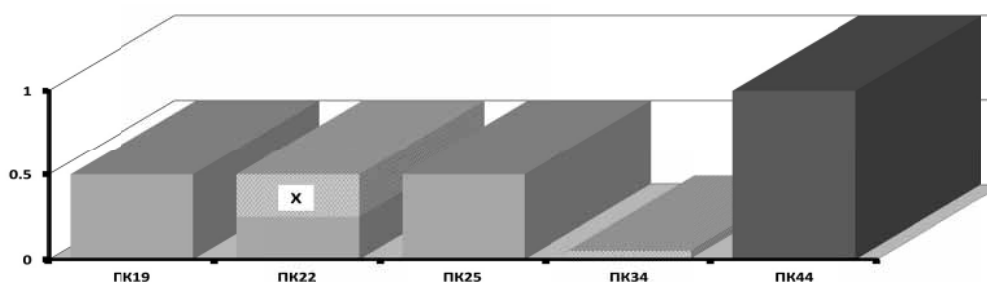


Рис. 8. Прогностическая модель изменения прочностных свойств пород лавы 1086 по пикетам 19, 22, 25, 34, 44 (X – изменение свойств по трассе сигнала от сборного до бортового штрека)

Анализ полученной информации с 19 по 44 пикеты показывает, что свойства прозвучиваемой области резко изменяются на пикете № 34. Свойства прозвучиваемой области не изменяются по простиранию от 19 до 25 пикета. Наблюдается резкое уменьшение прочностных свойств массива по сравнению со свойствами от 19 до 25 пикетов (минимальны на пикете № 34 и максимальны на пикете № 44). Прочностные свойства массива не изменяются от 19 до 25 пикета и соответствуют значениям прочности массива между пикетами 34 и 44.

Анализ результатов расчётов полных фаз сигналов позволяет сделать следующие выводы:

- сигналы несущих с минимальной девиацией фазы отличаются от максимальных составляющих спектрального анализа, что соответствует выводам о погрешностях последнего;
- максимальные девиации фазы наблюдаются на временных интервалах, соответствующих расстояниям до геологических нарушений по оси волновода при масштабировании временного интервала анализа T_p на ось χ волновода.

Для анализа высокочастотных компонент, несущих информацию о неровностях стенок волновода, в сигналах были отфильтрованы несущие с частотами (60 – 120) Hz и выполнены расчёты полной фазы в соответствии с предыдущим анализом. Анализ этих расчётов позволяет сделать следующие выводы:

- сигналы несущих с минимальной девиацией фазы, также как и в предыдущем анализе, отличаются от максимальных составляющих спектрального анализа, что соответствует выводам о погрешностях последнего;
- частоты несущих с минимальной девиацией фазы на порядок выше частот низкочастотной огибающей, что соответствует разрешению этих сигналов по оси χ ;
- информативность исследованных сигналов должна быть исследована дополнительно после выработки массива на исследуемом участке лавы.

В соответствии с выводами анализа низкочастотных и высокочастотных сигналов геолокации были разработаны прогнозные карты геологических нарушений на исследуемом участке (рис. 9).

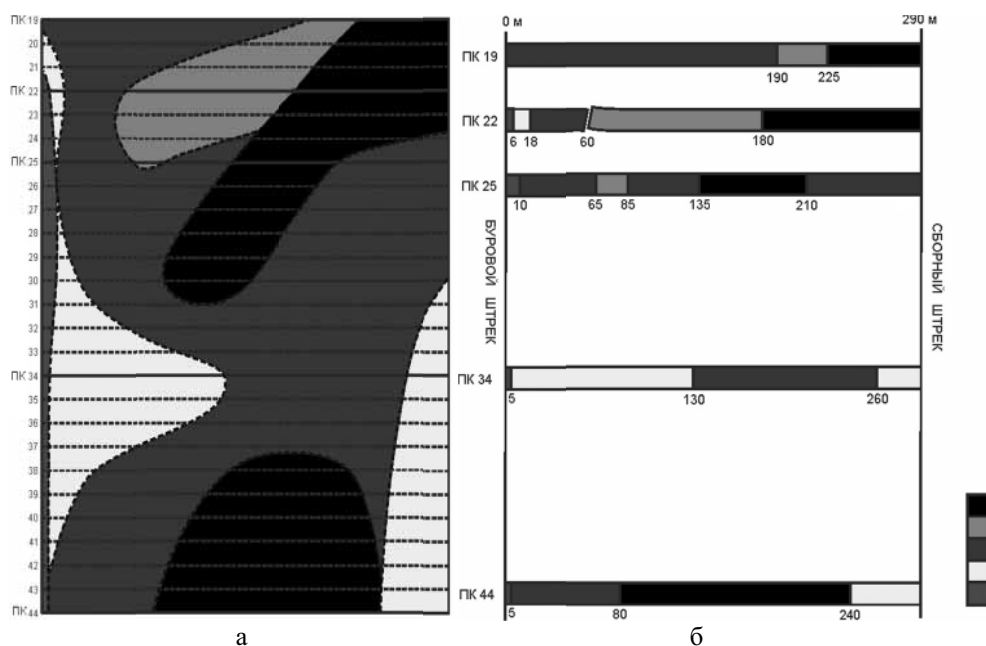


Рис. 9. Графические результаты обработки акустической информации: а) тектоническая карта лавы 1086; б) разрезы по профилям пикетов 19, 22, 25, 34, 44

Выводы. Приведенные результаты обработки акустической информации, полученной на основании экспериментов по прозвучиванию целика неотработанной части лавы 1086, основаны на использовании ранее известных в технике радиолокации принципов анализа отраженных от объектов сигналов, принятых на приемной стороне. При этом учитывалось доплеровское смещение частот в спектре сигналов, вызванное одно-, двух- и более кратным их отражением от границ возможных внутренних поверхностей, характерных для рассматриваемого объекта исследований. Для источника сигнала подразумевалось наличие информации о главных его параметрах в виде возмущения δ -функций известной мощности. Сложность обработки акустической информации, полученной из углепородного массива классическими подходами, применяемыми в технике радиолокации, заключается в различии прочностных (скоростных) параметров среды распространения (постоянной в случае использования электромагнитных волн), вызванной неоднородностью горного массива, непостоянством среды в пределах одного слоя, а также изменениями свойств среды за счет вариаций напряженного состояния.

Разработанная методика проведения исследований подтвердила свою работоспособность в целях обеспечения томографии нетронутой области массива для условий шахты „Днепровская“.

Список литературы / References

1. Анциферов А.В. Теория и практика шахтной сейсморазведки / Анциферов А.В. – Донецк: ООО „АЛАН“, 2003. – 312с.
Antsyferov, A.V. (2003), *Teoriya i praktika shakhtnoy seisemorazvedki* [Theory and Practice of Mine Prospecting Seismology], ООО “ALAN”, Donetsk, Ukraine.

2. Анциферов А.В. Сейсмическая разведка углепородных массивов / Анциферов А.В., Тиркель М.Г., Анциферов В.А. – Донецк: Вебер, Донецкий фил., 2008. – 202 с.

Antsyferov, A.V., Tirkel, M.G. and Antsyferov, V.A. (2008), *Seismicheskaya razvedka ugleporodnykh massivov* [Seismic Exploration of Coal-Bearing Massifs], Veber, Donetsk, Ukraine.

3. Neil, D.M., Hanna, K. and Descour, J.M. (1999), “RockVision3d™ seismic tomography applications in bump-prone coal mines”, *Mine Planning and Equipment Selection 1999 & Mine Environmental and Economical Issues*, Dnipropetrovsk, NMUU of Ukraine, pp. 509–520.

4. Шашенко А.Н. Математическая модель огибающей виброакустического зондирующего сигнала неоднородного породного массива / А.Н. Шашенко, В.Н. Журавлев, М.С. Дубицкая // Геотехническая и горная механика, машиностроение – Днепрпетровск: Научный вестник НГУ. – 2013. – № 1. – С.57–61.

Shashenko, A.N., Zhuravlev, V.N. and Dubitskaya, M.S. (2013), “Mathematical Model of the Envelope of Vibroacoustic Sounding of Heterogeneous Rock Massif”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no.1, pp. 57–61.

5. Шашенко А.Н. Анализ математической модели модуляции полной фазы огибающей виброакустического зондирующего сигнала в задаче геолокации дисперсионных свойств неоднородного породного массива / А.Н. Шашенко, В.Н. Журавлев, М.С. Дубицкая // Геотехническая и горная механика, машиностроение – Днепрпетровск: Научный вестник НГУ. – 2013. – № 2. – С. 68–73.

Shashenko, A.N., Zhuravlev, V.N. and Dubitskaya, M.S. (2013), “Analysis of Mathematical Model of

Modulation of Full Phase Envelope of Vibroacoustic Sounding Signal in the Problem of Geolocation of Dispersion Properties of Heterogeneous Rock Mass", *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no.2, pp. 68–73.

6. Журавлєв В.Н. Свойства стационарности зондирующего угольный пласт виброакустического информационного сигнала / В.Н. Журавлєв, Е.В. Масленников, И.В. Кондратюк // Сбiрник наукових праць НГУ. – Дніпропетровськ: НГУ, 2010. – № 34. – Т.1. – С.192–199.

Zhuravlev, V.N., Maslennykov, Ye.V. and Kondratyuk, Ye.V. (2010), "Properties of stationary of probing coal seam vibroacoustic data signal", *Collection of Scientific Papers of NMU*, no.34, T. 1, pp. 192–199.

7. Гайдышев И. Анализ и обработка данных: специальный справочник / Гайдышев И. – СПб.: Питер, 2001. – 752с.

Haydyshev, I. (2001), *Analiz i obrabotka dannykh: spetsyalnyi spravochnik* [Analysis and Data Processing: Special Reference Book], Piter, St. Petersburg, Russia.

Мета. Розробка заходів щодо ефективного відпрацювання вугільних пластів і підвищення продуктивності праці в умовах шахт, небезпечних за раптовими викидами вугілля й газу та тими, що містять приховані геологічні порушення диз'юнктивного типу.

Методика. Використання акустичних коливань у якості носія інформації про напружений стан і структурну організацію породного масиву, що відпрацьовується, – є найбільш перспективним напрямом при дослідженні об'єктів засобами неруйнівного контролю. Це пов'язано з тим, що кінетична енергія зондуючого сигналу, що передається в акустичному хвилеводі, взаємодіє з внутрішньою потенційною енергією середовища поширення. У залежності від внутрішньої енергії хвилеводу змінюється індекс модуляції параметрів акустичного сигналу. Даний процес, залежно від поставленого завдання, дозволяє аналізувати параметри напруженості та порушення цілісності породного масиву, що відпрацьовується.

Результати. Отримано позитивні результати застосування методу та апаратури для прогнозування зон аномальних концентрацій напруг при проходженні виробок у зонах геологічних порушень для автоматичного керування роботою прохідницьких і очисних комбайнів. Надійність методу та апаратури акустичного контролю, ефективність, універсальність і сумісність з іншими технічними засобами дозволяють розглядати даний напрям, за умови теоретичного обґрунтування основних параметрів розповсюдження акустичних коливань у складно-структурному породному масиві, як основний для розробки автоматизованих систем геомеханічного моніторингу при підземному видобутку корисних копалин.

Наукова новизна. Доведено факт інформаційної фазової модуляції низькочастотних огинаючих спектральної щільності потужності зондуючого

акустичного сигналу. Уперше запропоновано застосування методу фазової демодуляції функції спектральної щільності потужності для акустичного контролю й прогнозування зон аномальних концентрацій напруг при проходженні виробок у зонах геологічних порушень.

Практична значимість. Розроблена методика проведення досліджень підтвердила свою працездатність у цілях забезпечення томографії незайманої області масиву для умов шахти „Дніпровська“. У результаті проведених вимірювань виявлена межа геологічного порушення та дана характеристика міцністних властивостей масиву всередині порушення та поза ним. Розроблено та виготовлено датчик для проведення вимірювань відповідно до умов шахти „Дніпровська“.

Ключові слова: акустичний контроль, складно-структурне порідне середовище, амплітудно-частотна характеристика

Purpose. To develop the measures for the effective mining of coal beds and improvement of work productivity in dangerous outburst-prone mines where hidden disjunctive geological faults appear.

Methodology. The use of acoustic waves as a carrier of information about tension and structural organization of the rock mass is the most promising way of study of objects by means of non-destructive testing. It is caused by the fact that the kinetic energy of the probe signal transmitted in the acoustic waveguide interacts with internal potential energy of the medium. Depending on the internal energy of the waveguide the modulation parameters index of the acoustic signal changes, the process allows to analyze the stress condition parameters and faults in the rock massif.

Findings. We have obtained positive results of application of the method and equipment for predicting the areas of abnormal stress concentrations during the mining in the areas of geological faults, to set the automatic control of the operation of tunneling machines and cutter-loaders. Reliability of the acoustic control method and equipment, its efficiency, versatility and compatibility with other technical means makes it possible to consider it as the basis for the development of automated systems of geomechanical monitoring in underground mining, provided the theoretical justification of basic parameters of acoustic oscillations in complex structural rock massif.

Originality. We have proved the presence of the information phase modulation of low-frequency envelope of the power spectral density of the probe acoustic signal. For the first time we have proposed to use the method of phase demodulation of power spectral density function for acoustic control and forecasting of abnormal zones of stress concentrations during mining the areas of geological faults.

Practical value. The developed method of research has confirmed its operability in order to provide tomography of untouched massif in the mine "Dneprovskaya". The measurements allowed detecting the configuration

of geological faults and characteristics of the strength properties of the massif within the faults and beyond them. We have designed and produced the special sensor for measurement in the mine "Dneprovskaya".

Keywords: *acoustic control, complex-structured rock medium, amplitude-frequency characteristic*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук М.М. Довбнічем. Дата надходження рукопису 16.11.12.

УДК: 621.01, 621.09

**І.В. Кузьо, д-р техн. наук, проф.,
О.В. Ланець,
В.М. Гурський, канд. техн. наук**

Національний університет „Львівська політехніка“, м. Львів,
Україна, e-mail: olena-lanec@mail.ru

ОБГРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ДВОЧАСТОТНИХ РЕЗОНАНСНИХ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН З ІМПУЛЬСНИМ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИМ ЗБУРЕННЯМ

**I.V. Kuzo, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
O.V. Lanets,
V.M. Gurskyi, Cand. Sci. (Tech.)**

Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine,
e-mail: olena-lanec@mail.ru

SUBSTANTIATION OF TECHNOLOGICAL EFFICIENCY OF TWO-FREQUENCY RESONANT VIBRATION MACHINES WITH PULSE ELECTROMAGNETIC DISTURBANCE

Мета. Підвищення технологічної ефективності двомасових вібраційних одночастотних резонансних машин шляхом переведенням їх у нелінійні системи, зокрема реалізацією асиметричної кусково-лінійної пружної характеристики.

Методика. Полягає у чисельному моделюванні та порівняльному аналізі діючих значень пришвидшень робочих органів двомасових вібраційних машин з лінійними та кусково-лінійними пружними характеристиками. При цьому, раціональним виявилось використання імпульсного електромагнітного збурення за однократною схемою живлення. Змінне тягове зусилля однократно електромагніту трактується на основі ряду Фур'є полічастотним, під гармоніки якого синтезуються пружні асиметричні кусково-лінійні параметри вібраційної системи.

Результати. Синтезовано пружні параметри асиметричної кусково-лінійної характеристики для реалізації двочастотних резонансних режимів роботи двомасових вібраційних машин з імпульсним електромагнітним збуренням. Чисельним моделюванням вібраційних систем отримано часові залежності переміщень та пришвидшень мас, проведений спектральний аналіз отриманих характеристик. Встановлено наявність ударних пришвидшень у запропонованій вібраційній двомасовій системі з асиметричною кусково-лінійною пружною характеристикою. Введено критерії для оцінки технологічної та енергетичної ефективності запропонованих двочастотних резонансних машин з імпульсним збуренням та обґрунтовано їх переваги над відповідними одночастотними системами. Технологічну ефективність нелінійних систем підтверджено за рахунок реалізації режимів роботи з ударними пришвидшеннями, сумарні діючі значення яких протягом періоду переважають над відповідними значеннями в лінійних системах. Для встановлення величини енергоспоживання використовувалися діючі значення потужностей, необхідні на приведення в рух механічних систем.

Наукова новизна. Полягає в подальшому розвитку нелінійних вібраційних машин з електромагнітним збуренням. Зокрема, уперше апробовано механізм реалізації асиметричних резонансних режимів роботи двомасових вібраційних систем із синтезованими кусково-лінійними пружними характеристиками з урахуванням особливостей імпульсного електромагнітного збурення.

Практична значимість. Впровадженням до структури двомасової вібраційної системи асиметричних кусково-лінійних пружних характеристик та використанням імпульсного збурення підвищується технологічна та енергетична ефективність базових лінійних одночастотних машин.

Ключові слова: *резонансна вібраційна машина, кусково-лінійна пружна характеристика, електромагнітний привід, імпульсне збурення, ударні пришвидшення*

Постановка проблеми. Більшість резонансних вібраційних машин побудована на лінійній двомасо-

вій коливальній системі, чим забезпечуються одночастотні (гармонійні) коливання робочих органів. Зважаючи на вимоги енергоощадливості, простоти та надійності в роботі, для резонансних систем для збурення використовують електромагнітні віброзбу-