

Methodology. The purpose of the study was implemented by means of mathematical modeling in the SOLID WORKS COSMOS FLO software environment and by experimental studies on the physical model.

Findings. The data about kinematic structure of the stream in the mixing chamber of the central ejector were obtained. They showed that at low ratios of ejection the separation of the flow away from the walls occurs. A method of eliminating separation zones – replacing of their existence areas by hard surfaces was proposed.

Originality. It was proved that separation zones arise under small coefficients of ejection in the mixing chamber of the central ejector. They are characterized by a high level of dissipative processes. On maintaining of these processes some part of mechanical energy of the stream is expended, leading to a decrease in efficiency of the ejector as a whole. The conditions of separation zones and their geometrical parameters were defined. It

made possible to replace the area of their existence by solids introduced into the mixing chamber of the ejector. Mathematical and physical modeling showed improving of ejectors efficiency with replacement bodies within a wide range of operating modes.

Practical value. Central ejectors are widely used in various industries. Their main drawback is poor performance. This is especially true when working in the low coefficients of ejection. The conducted studies have provided a way to improve efficiency of ejectors working in such conditions. The method is simple, economical, does not require additional operating costs; it can be implemented by the staff in manufacturing.

Keywords: *central ejector, ejection coefficient, ejector module, mixing chamber, replacement body*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О. І. Буровим. Дата надходження рукопису 02.02.14.*

УДК 622.831.3:531.36

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

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

ПРОГНОЗ ДИЗЬЮНКТИВОВ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ФАЗОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

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

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

FORECAST OF DISJUNCTIVES BASED ON MATHEMATICAL INTERPRETATION OF ACOUSTIC SIGNAL PHASE CHARACTERISTICS

Цель. Повышение эффективности и достоверности неразрушающего способа прогноза скрытых дизъюнктивов в пологозалегающих угольных пластах при их отработке струговыми лавами.

Методика Методологической основой решения поставленных задач является комплексный подход, включающий использование шахтных визуальных и инструментальных наблюдений, аналитических и численных методов построения тектонических карт, статистического анализа и интерпретации результатов акустического зондирования.

Результат. Разработана методика обработки сигнала, прошедшего через структурно-неоднородный породный массив, которая отличается от известных тем, что в ее основу заложена фазовая демодуляция функции спектральной плотности мощности по методу низкочастотного эквивалента. Это позволяет прогнозировать малоамплитудную тектонику угольного пласта и вмещающих пород. Методика дает возможность определить место расположения неоднородностей при прохождении выработок в зонах геологических нарушений.

Научная новизна. Впервые установлена взаимосвязь между информационной составляющей в функциях модуляционных параметров искусственно генерируемого акустического сигнала и координатами расположения скрытого геологического нарушения в нетронутой части угольного пласта струговой лавы для условий полого залегающих угольных пластов Западного Донбасса.

Практическая значимость. Повышение надежности акустического способа прогноза скрытых дизъюнктивов, оценка и обоснование томографии ненарушенной области углепородного массива для условий шахты „Степная“ ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“

Ключевые слова: *зондирующий акустический сигнал, дизъюнктив, УТАС, фазовая характеристика, несущие частоты*

Актуальность. Основными тенденциями стратегического развития шахт Западного Донбасса, включая

шахты, входящие в состав ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“, является внедрение высокопроизводительной техники при отработке угольных пластов. В частности, реализация такого подхода осуществляется за счет внедрения современных струговых установок, которые по-

зволяють досягти продуктивності забоя 3000–3500 тонн в сутки без присутності людини в лаві.

При інтенсивній обробці вугільних пластів серйозну загрозу для працюючих в шахті людей представляє метановиділення. На підтримання шахтної атмосфери в межах допустимих норм витрачаються значительні засоби. Газодинамічні явища нерозривно пов'язані з геологічними порушеннями диз'юнктивного типу в вугільних пластах. Поєднанню оперативного прогнозу строєння нетронуті частини інтенсивно оброблюваної лави представляє не тільки технологічний інтерес, але й гостру необхідність підвищення безпеки шахтерів.

Введення. Аналіз геологічних показувачів, наведені в роботах різних дослідників, показує, що при збільшенні глибини обробки зростає кількість вугільних пластів з мелкоамплітудними геологічними порушеннями. Це означає, що проблема ідентифікації мелкоамплітудних порушень актуальна не тільки на сьогоднішній день, але й буде ще більш актуальною в майбутньому.

Постановка задачі. Характерною особливістю стругової технології – висока швидкість виконання гірських робіт, що передбачає швидке обнаження породи значительної площі. Геомеханічні процеси, які при цьому розвиваються в порідному масиві, на сьогоднішній день вивчені мало. Відповідно відсутній і базис для розробки ефективних засобів захисту гірничотехнічних об'єктів з урахуванням переміщуваного максимуму гірського тиску впереду рухомого забоя лави, яке суттєво ускладнюється можливістю наявності непередбачуваних геологічних порушень. Сучасні методи прогнозу строєння вуглепородного масиву не можуть гарантувати безпеку ведення робіт в такій складній, динамічно змінюючійся ситуації, оскільки відомо [1–7], що надійність існуючих методів прогнозу закритих порушень не перевищує 70%.

Крім того, аналіз форм, ознак наявності, закономірностей поширення і характеру проявлення диз'юнктивів, характерних для шахтних полів Донбасу, дозволив встановити, що для повної і правильної ідентифікації прихованого порушення необхідно враховувати як прямі, так і косвенні ознаки, відносячись до нього, при цьому варто комбінувати різні підходи ідентифікації для підвищення ступеня надійності прогнозу.

В цій зв'язі необхідний комплексний підхід до оперативного прогнозу структури вуглепородного масиву при впровадженні стругової технології видобування в умовах шахти Західного Донбасу.

В якості об'єкта дослідження обрана 165-я стругова лави пласта С₆ шахти „Степная“ ПАО „ДТЭК Павлоградуголь“. Для оброблюваного ділянки характерно наявність зон геологічних порушень, для виявлення яких в даній роботі здійснюється зондування порідного масиву спеціально генеруваними акустичними сигналами.

Можливість проведення експерименту забезпечена тим, що вздовж необробленої частини столба прой-

дено дві паралельні підготовчі виробки (вентиляційна і конвеєрна штреки), що дозволяє розмістити в одній з них джерело генерації штучних акустичних сигналів, а в другій – прийомне пристрій (геофон). Таким чином, виконується акустичне „прозвучування“ вугільного цілика з метою виявлення можливих неоднорідностей в формі геологічних порушень і локалізації місця їх розташування.

Дослідження проводилися в два етапи. Штучний зондувальний сигнал генерувався двома способами: ударом механічного інструменту по пике, попередньо забитою в вугільний пласт (рис. 1), і режущим механізмом працюючого струга в процесі вийми вугілля (рис. 2).

Основна частина. Координатна і часовий зв'язок сигналів здійснювалася з допомогою системи УТАС (уніфікована телекомунікаційна система диспетчерського контролю і автоматизованого управління гірними машинами і технологічними комплексами). Однією з її функцій є передача, обробка і відображення на диспетчерському пункті місцезнаходження струга в кожен момент часу (рис. 3). Дані неперервно записуються і зберігаються, що дозволяє використовувати їх при інтерпретації зареєстрованих даних. Для цього була проведена синхронізація часу на працюючій системі УТАС і на ПК, до якого був підключений наземний блок прийомного пристрою.

Для проведення досліджень використовується серійна апаратура передачі сейсмоакустичного сигналу АПСС1. Підземний датчик забезпечує прийом акустичного сигналу, його перетворення в електричний, посилення і частотну модуляцію електричного сигналу. Наземний блок апаратури забезпечує прийом частотно-модульованого сигналу, його демодуляцію посилення, передачу сигналу для реєстрації і обробки в персональний комп'ютер, регулювання рівня посилення сигналу в блоці датчика, передачу речової інформації в забой, забезпечення контролю стану лінії зв'язку, прослушування надходящої інформації, маркування запису.

Сигнали датчиків передавалися на поверхню, де синхронно перетворювалися в цифрову форму з параметрами: динамічний діапазон квантування – 16 біт, частота дискретизації – $f_d = 41100 \text{ Hz}$. Цифрова інформація записувалася на диск персонального комп'ютера.

Дослідження низькочастотної обгортаючої спектральної густоти потужності несучих частот і наступної фазової демодуляції в середовищі Matlab дозволяє отримати фазові характеристики обгортаючої, які несуть в собі інформаційну складову, відповідальну за строєння хвилевода, який, в даному випадку, є вугільний пласт. При наявності геологічного порушення графік фазової характеристики має один глобальний екстремум, який суттєво відрізняється від інших – локальних – своєю першою похідною. Крім того, при фазовій демодуляції максимальна амплітуда

несущей частоты иногда бывает менее информативна чем боковые. Поэтому вычисление фазовых характеристик осуществляется по четырем несущим

частотам с максимальной амплитудой, а среди них выбирается одна – с наиболее резким изменением сигнала.

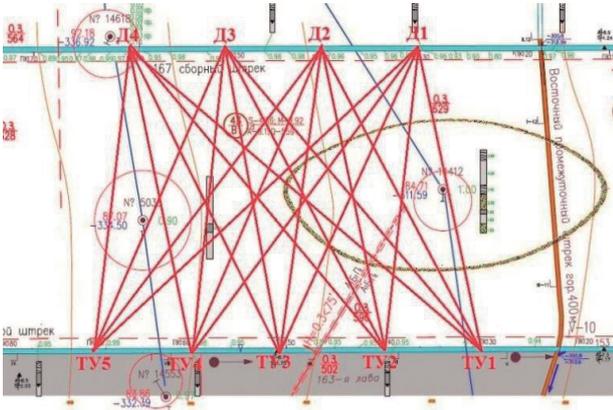


Рис. 1. Схема проведения I-го этапа эксперимента акустическим методом на шахте „Степная“

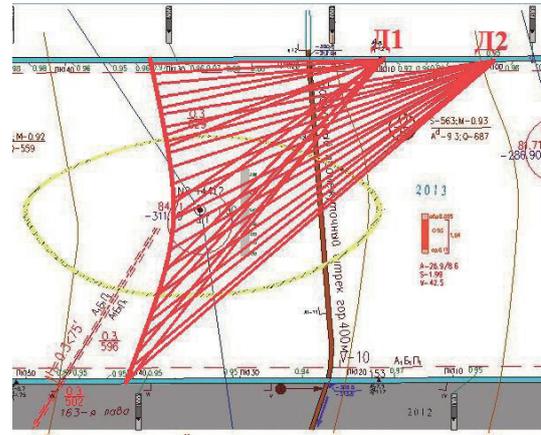


Рис. 2. Схема проведения II-го этапа эксперимента акустическим методом на шахте „Степная“

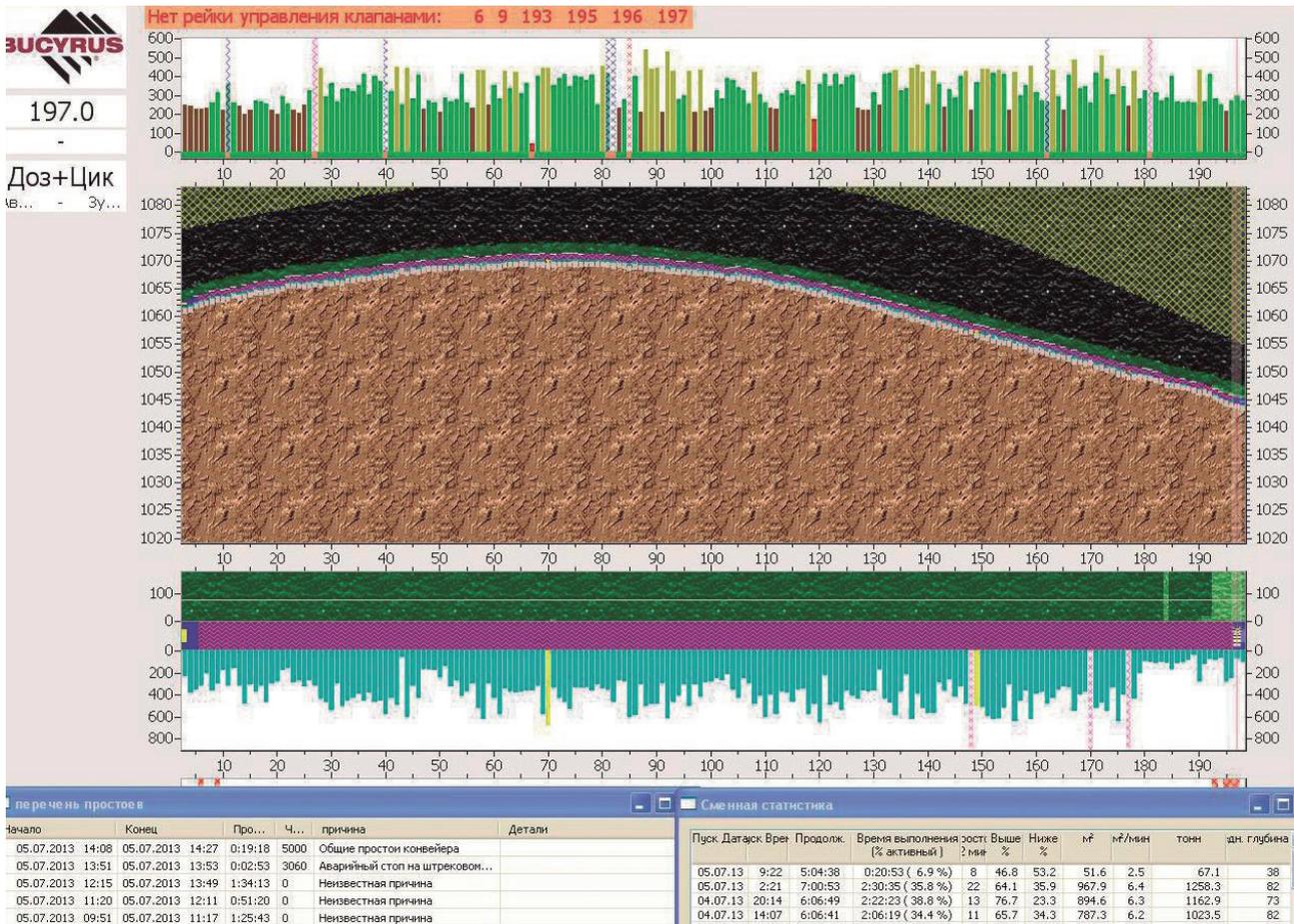


Рис. 3. Унифицированная телекоммуникационная система диспетчерского контроля и автоматизированного управления горными машинами и технологическими комплексами

В программе оценки нижних и верхних частот осуществляется расчет функции полной фазы низкочастотных составляющих. задается интервал времени окна анализа и его сдвиг относительно начала сигнала в се-

кундах. Программа оценки нижних частот отбирает четыре несущие частоты, по которым вычисляются фазовые характеристики. На основе их анализа делается вывод о том, что на изгибе функции отражается излом

характеристики. Сигнал, проходя сквозь массив, переотражается на неоднородностях, вследствие чего изменяются его характеристики.

В программе расчета спектральной плотности мощности зондируемого сигнала задается время окна просмотра, интервал движения окна просмотра, вектор времени, коэффициент верхней частоты спектра $f = F_s/F_e$, где F_s – тактовая частота; F_e – конечная частота спектра. Вводятся также округление значения сдвигового времени, шаг частоты, внутреннее значение цикла и внутреннее время расчета программы, время выполнения цикла. Таким образом, осуществляется полная оценка спектральной плотности мощности.

Описанная выше точка экстремума на функции фазовой характеристики низкочастотной огибающей спектральной плотности мощности несущих частот возникает в определенное время распространения зондируе

мого сигнала. Имея данные о местонахождении источника сигнала в момент распространения акустической волны, скорость ее распространения в волноводе и местонахождение приемника, можно определить координаты соответствующей точки разрывного геологического нарушения.

Обработка информации заключалась во взаимной увязке всех полученных данных с целью получения целостной картины структуры угольного пласта.

Анализ полных фаз сигналов позволяет сделать вывод о том, что сигналы несущих частот 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.

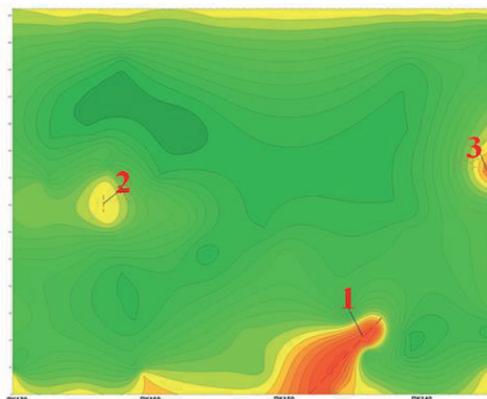


Рис. 4. Оценка структуры исследуемого участка лавы 165 с ПК1170 по ПК1130

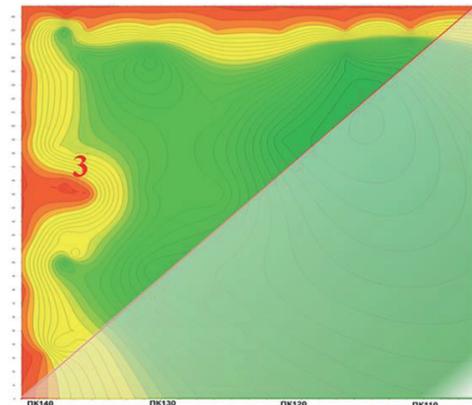


Рис. 5. Оценка структуры исследуемого участка лавы 165 с ПК142 по ПК120

- зона наименьших нарушений целостности породного массива;
- зона перехода между нарушенной и целостной частями породного массива;
- зона нарушения сплошности породного массива;
- „слепая“, т.е. не зондируемая зона



Рис. 6. Выкопировка из фактического плана отработки 165-й лавы

Самым важным фактором, влияющим на качество записанного сигнала, является плотный контакт чувствительного элемента датчика с массивом без воздушных промежутков и заранее налаженная линия связи, которая не должна быть заземлена и превышать 10 км. Удельное сопротивление должно быть не более 75 Ом/км. Важную роль в успешной обработке полученного сигнала играет наличие вышеупомянутой системы УТАС на шахтах и возможность синхронизации с ней, поскольку данная система обеспечивает точную и достоверную информацию о местоположении комбайна в любую отметку времени. Таким образом, при выполнении всех подготовительных мероприятий, описанных в методике, обеспечивается качество полученной в процессе исследований акустической информации.

По результатам первого и второго этапов экспериментальных исследований были разработаны прогнозные карты геологических нарушений на исследуемом участке лавы 165 (рис. 4–6).

Сравнительный анализ полученных результатов с фактическим паспортом участка показывает, что разработанная методика позволяет определить нарушения с амплитудой до 3 м. Следует отметить, что нарушения 2 и 3 на рис. 4–5 представляют собой разведочные скважины малого диаметра. При этом в структуре волновода они тоже идентифицируются как разрыв сплошности. Таким образом подтверждается высокая эффективность методики для прогноза малоамплитудной тектоники угольного пласта.

Выводы. По результатам выполненных исследований разработана методика прогноза разрывных геологических нарушений в угольных пластах методом акустической геолокации применительно к струговым лавам, которая содержит такие пункты:

1. Анализ первичной (прогнозной) информации о состоянии участков выработки, которые находятся в сложных горно-геологических условиях.
2. Выбор объекта исследований.
3. Синхронизация наземного блока аппаратуры с УТАС на шахте.
4. Подготовка линии связи.
5. Разработка схемы расположения датчиков с учетом условий исследуемого участка.
6. Подготовка шпуров для установления датчиков.
7. Проведение натурных измерений в шахте.
8. Определение скорости распространения акустических волн в исследуемом угольном пласте.
9. Обработка данных:
 - а) координатная привязка каждого сигнала относительно исследуемого участка с использованием данных с УТАС;
 - б) обработка каждого сигнала в пакете MatLab;
 - в) анализ результатов обработки в MatLab и выбор информативной составляющей;
 - г) определение координат геологических нарушений.
10. Построение графической интерпретации полученных измерений на исследуемом участке с использованием программы Surfer.

11. Анализ графической интерпретации полученных измерений и выделение нарушений.

12. Передача результатов геологической службе шахты.

Список литературы / References

1. Шашенко О.М. Управління стійкістю протяжних виробок глибоких шахт: монографія / Шашенко О.М., Солодянкин О.В., Мартовицький А.В. – Дніпропетровськ: Лізунов Прес, 2012. – 400 с.
Shashenko, O.M., Solodiankin, O.V. and Martovyt-skiy, A.V. (2012), *Upravlinnia stiikestiu protiazhnykh vyrobok hlybokykh shakht* [Extended Workings Stability Control in Deep Mines], Monograph, Lizunov Pres, Dnipropetrovsk, Ukraine.
2. Глухов А.А. Изучение газоносности угленосной толщи / Глухов А.А., Тиркель М.Г., Анциферов В.А. – Донецк: Вебер, 2008. – 208 с.
Glukhov, A.A., Tirkel, M.G. and Antsiferov, V.A. (2008), *Izuchenie gazonosnosti uglenosnoy tolshchi* [Study of Gas Bearing Capacity of Coal Seams], Veber, Donetsk, Ukraine.
3. Глухов А.А. Прогноз тектонических нарушений угольных пластов методом сейсмического просвечивания / А.А. Глухов, А.И. Компаниец, А.В. Анциферов // Геология и Маркшейдерия – Уголь Украины. – 2007. – №8. – С. 41–45.
Glukhov, A.A., Kompaniets, A.I. and Antsiferov, A.V. (2007), “Forecast of tectonic disturbances in coal seams by seismic survey”, *Geology and Mine Surveying, Ugol Ukrainy*, no.8, pp. 41–45.
4. Анциферов А.В. Методы и проблемы шахтной геофизики / А.В. Анциферов // Науковий вісник НГУ. – 2003. – №8. – С. 30–32.
Antsiferov, A.V. (2003), “Methods and problems of mining geophysics”, *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, no.8, pp. 30–32.
5. Анциферов А.В. Теорія та практика шахтної сейсморозвідки / Анциферов А.В. – Донецьк: „АЛАН“, 2003. – 312 с.
Antsiferov, A.V. (2003), *Teoriia ta praktyka shakhtnoi seismorozvidky* [Theory and Practice of Mine Seismic Works], ALAN, Donetsk, Ukraine.
6. Солодянкин А.В. Актуальные задачи обеспечения устойчивости выработок при пересечении зон геологических нарушений: материалы международной конференции „Перспективы освоения подземного пространства“ / А.В. Солодянкин, В.В. Янко – Днепропетровск: РИК НГУ, 2008. – С. 43–46.
Solodyankin, A.V. and Yanko, V.V. (2008), “Actual tasks of stability ensuring at the intersection of geological disturbance zones”, *Proc. of the International Conference “Prospects for Development of Underground Space”*, RIK NGU, Dnepropetrovsk, pp. 43–46.
7. Лукинов В.В. Тектоника метанугольных месторождений Донбасса / Лукинов В.В., Пимоненко Л.И. – К.: Наукова думка, 2008. – 352 с.
Lukinov, V.V. and Pimonenko, L.I. (2008), *Tektonika metanougolnykh mestorozhdeniy Donbassa* [Tectonics methane-coal mine fields of Donbass], Naukova Dumka, Kiev, Ukraine.

Мета. Підвищення ефективності та достовірності неруйнівного способу прогнозу прихованих диз'юнктивів у пологозалагаючих вугільних пластах при відпрацюванні цих пластів струговими лавами.

Методика. Методологічною основою вирішення поставлених завдань є комплексний підхід, що включає шахтні візуальні та інструментальні спостереження, аналітичні та чисельні методи побудови тектонічних карт, статистичного аналізу та інтерпретації результатів акустичного зондування.

Результат. Розроблена методика обробки сигналу, що пройшов через структурно-неоднорідний породний масив, яка відрізняється від відомих тим, що в її основу закладена фазова демодуляція функції спектральної щільності потужності, розрахована методом низькочастотного еквівалента. Методика дозволяє прогнозувати мілкоамплітудну тектоніку вугільного пласта та порід, а також визначати місце розташування неоднорідностей при проведенні виробок у зонах геологічних порушень.

Наукова новизна. Уперше встановлено взаємозв'язок між інформаційною складовою у функціях модуляційних параметрів штучно генерованого акустичного сигналу та координатами розташування прихованого геологічного порушення в недоторканій частині вугільного пласта стругової лави для умов пологозалагаючих вугільних пластів Західного Донбасу.

Практична значимість. Підвищення надійності акустичного способу прогнозу прихованих диз'юнктивів, оцінка та обґрунтування томографії непорушеної області породного масиву для умов шахти „Степова“ ПАТ „ДТЕК Павлоградвугілля“.

Ключові слова: зондуючий сигнал, диз'юнктив, УТАС, фазова характеристика, несучі частоти

Purpose. To increase the efficiency and reliability of a nondestructive technique to forecast hidden disjunctives in a flat-lying coal seam mined with plow longwall technology.

Methodology. To meet the goal an integrated approach was involved. It was based on the visual and instrumental observations in situ; analytical and numerical methods of tectonic map creation; analysis and interpretation of the results obtained by acoustic sounding.

Findings. The new technique was developed to process the acoustic signal exploring the heterogeneous rock mass. It distinguishes from the known techniques by being based on a phase demodulation of spectral power density using the method of low-frequency equivalent. This allows predicting the small amplitude tectonics of coal seams and rocks. The location of irregularities can be determined while driving an excavation over a zone of geological faults.

Originality. For the first time the relationship between the information component of acoustic signal modulation and hidden geological fault location were determined. The acoustic signals generated artificially have been used to explore the untouched part of the coal seam mined with plow technology under West Donbass geological conditions.

Practical value. The reliability of the hidden disjunctives forecast and rock mass tomography study in the “Stepova” mine owned by PAT “DTEK Pavlohradvuhillia” has been improved.

Keywords: *probing acoustic signal, disjunctive, UTAS, phase characteristic, carrier frequency*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук
О.В. Солодянкіним. Дата надходження рукопису
16.11.13.*