

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ДУБИЦЬКА Марія Сергіївна



УДК 622.2:550.83

**ВДОСКОНАЛЕННЯ СПОСОБУ ПРОГНОЗУ ДИЗ'ЮНКТИВНИХ
ПОРУШЕНЬ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОЇ ГЕОЛОКАЦІЇ ПРИ
ВІДПРАЦЮВАННІ ПОЛОГОЗАЛЯГАЮЧИХ ВУГІЛЬНИХ ПЛАСТІВ**

Спеціальність 05.15.09 – “Геотехнічна і гірнична механіка”

**Автореферат дисертації
на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук**

Дніпропетровськ – 2014

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі будівництва і геомеханіки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Шашенко Олександр Миколайович,
завідувач кафедри будівництва і геомеханіки
Державного вищого навчального закладу
«Національний гірничий університет» Міністерства
освіти і науки України (м. Дніпропетровськ).

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Паламарчук Тетяна Андріївна,
провідний науковий співробітник відділу механіки
гірських порід Інституту геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ);

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Глухов Олександр Олександрович,
завідувач відділу комп'ютерних технологій
Українського державного науково-дослідного і
проектно-конструкторського інституту гірничої
геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН
України (м. Донецьк).

Захист дисертації відбудеться “28” лютого 2014 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 при Державному ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19, т. 47-24-11).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державного ВНЗ «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19).

Автореферат розіслано “27” січня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.В. Солодянкін

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. При підготовці шахтного поля до відпрацювання нестача геологічної інформації часто густо призводить до того, що в процесі роботи лави виявляються порушення у вугільному пласті, які вносять суттєві поправки в технологічний процес, аж до його зупинки, демонтажу обладнання і нарізки нової лави. Такі незаплановані порушення технологічного характеру призводять до значних фінансових втрат, які можуть сягати десятків мільйонів гривень. Крім того, з геологічними порушеннями розривного типу нерідко пов'язані динамічні прояви гірського тиску, такі як раптові викиди вугілля і газу, результатом чого можуть бути не тільки фінансові втрати, але й людські жертви.

Існуючі методи прогнозу прихованих геологічних порушень, зокрема акустичні, мають недостатню надійність, що часто не перевищує 50-70%. В зв'язку з цим встановлення нових закономірностей між інформаційною складовою акустичного сигналу та параметрами геологічного порушення та вдосконалення методів виявлення прихованих диз'юнктивів являє собою актуальне науково-технічне завдання, що має важливе народно-господарське значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася в рамках наукових програм, тем Мінвуглепрому України: ХТ-050385 «Надання науково-технічної допомоги в прогнозі геологічних порушень в 1086 лаві ПСП шахта «Дніпровська» ВАТ «Павлоградвугілля» з використанням акустичної системи АК-1» (2011), ХТ-050383 «Науково-технічна допомога в адаптації акустичної системи АК-1 для прогнозу структури вугільних пластів при їх відпрацюванні в умовах шахти «Касноармійська-Західна № 1» (2011), ГП-451 «Наукові основи прогнозу зон тектонічних деструкції вуглепородного масиву і фундаментальні дослідження явища спонтанного утворення вуглецевих фаз» (№ ДР 0112U000870, 2012).

Мета роботи полягає в підвищенні ефективності та достовірності неруйнівного способу прогнозу прихованих геологічних порушень диз'юнктивного типу у вугільних пластах шляхом виділення інформаційної складової у функціях модуляційних параметрів штучно генерованого акустичного сигналу.

Основна ідея роботи полягає в ідентифікації інформаційної складової зонduючого сигналу шляхом аналізу функції фазової модуляції низькочастотної огинаючої спектральної щільності потужності несучих частот зонduючого віброакустичного сигналу.

Об'єктом досліджень є процес поширення зонduючого сигналу у складноструктурному вугільному пласті, що містить геологічні порушення.

Предметом досліджень є модуляційні характеристики акустичного штучно генерованого зонduючого сигналу, що пройшов крізь вуглепородний масив.

Задачі досліджень. Відповідно до поставленої мети сформульовані та вирішені такі задачі:

- аналіз існуючої інформації в області акустичного зондування непорушеної частини породного масиву методами неруйнівного контролю;
- аналіз первинної (прогнозна) інформації про стан ділянок виробок, які перебувають у складних гірничо-геологічних умовах;
- натурні вимірювань в умовах вугільних шахт Донбасу;
- аналітичних досліджень процесу поширення акустичних сигналів у складноструктурному породному масиві, що містить геологічні розривні порушення;
- обробка інформації, отриманої за результатами експериментів, шляхом розкладання її на корисну і шумову за допомогою застосування методу низькочастотного еквівалента;
- розробка методики прогнозу прихованих геологічних порушень диз'юнктивного типу в породному масиві.

Методи досліджень. Методологічною основою вирішення поставлених задач досліджень є комплексний підхід, що включає використання: методів аналізу та узагальнення літературних і статистичних даних з питання прогнозу будови недоторканої частини вугільного масиву і хвильової теорії поширення акустичних сигналів в диспергуючому середовищі; методів механіки гірських порід; комплексу шахтних візуальних та інструментальних спостережень; аналітичних і чисельних методів побудови тектонічних карт; математичного моделювання геомеханічних процесів і експериментальних методів збору, статистичного аналізу та інтерпретації результатів досліджень в шахтах методом неруйнівного контролю.

Основні наукові положення, що захищаються в роботі.

1. Точка глобального екстремуму фазової характеристики низькочастотної огинаючої спектральної щільності потужності несучих частот, яка обчислюється методом низькочастотного еквівалента, визначає місцезнаходження розривного геологічного порушення у вугільному пласті з надійністю не менше 0.95, що дозволяє істотно підвищити надійність прогнозу геоакустичним методом.

2. Координати розривного порушення на прямій від джерела штучно генерованого сигналу до приймача в площині хвилеводу визначаються добутком середньої швидкості поширення акустичного коливання у вугільному пласті і часом, що відповідає виникненню глобального екстремуму фазової характеристики низькочастотної огинаючої спектральної щільності потужності несучих частот, що дозволяє визначити геометричні параметри розривного порушення у вугільному пласті.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Вперше доведено факт існування наявності інформаційної складової амплітудно-фазової модуляції низькочастотних огинаючих спектральної щільності потужності несучих частот зондуючого сигналу, що пройшов через досліджуваний породний масив.

2. Обґрунтована і досліджена математична модель поширення акустичного хвильового пакету в диспергуючому породному середовищі, яка відрізняється

від відомих тим, що вона заснована на інформаційній амплітудно-фазовій модуляції несучих частот зонduючого сигналу.

3. Розроблено методику обробки сигналу хвильового пакету зонduючого сигналу, що пройшов крізь структурно-неоднорідний породний масив, яка відрізняється від відомих тим, що в її основу закладена фазова демодуляція функції спектральної щільності потужності із застосуванням методу низькочастотного еквівалента. Методика дозволяє визначити геометричні параметри неоднорідностей при проходженні виробок в зонах геологічних порушень.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей між інформаційною складовою у функціях модуляційних параметрів штучно генерованого акустичного сигналу та координатами розташування прихованого геологічного порушення у недоторканій частині вугільного пласту для умов полого залягаючих вугільних пластів Донбасу.

Практичне значення роботи полягає у вдосконаленні і підвищенні надійності акустичного способу прогнозу прихованих геологічних порушень, оцінці та обґрунтуванні томографії непорушеної області вуглепородного масиву для умов шахт «Краснолиманська» (2 західна лава західна частина пласту I_3 гор. 845 м) ДП «ВК «Краснолиманська», «Дніпровська» (гор. 265 м пласт C_B^{10} лава 1086) і «Степова» (165 лава пласт C_6 гор. 490 м) ПАТ «ДТЕК Павлоградвугілля».

Обґрунтованість і вірогідність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджується: відповідністю розроблених теоретичних положень фундаментальним законам механіки суцільних середовищ, геотехнічної та гірничої механіки, хвильової теорії й основам сейсмоакустичного методу; достатнім обсягом достовірних результатів отриманих на 3 шахтах Донбасу при проведенні досліджень геоакустичним методом (для заданої довірчої ймовірності 0,9 – 18 фактичних замірів в кожній точці досліджуваного масиву, для ймовірності 0,95 – 56 відповідно); високою збіжністю (до 95%) результатів прогнозу геоакустичним методом з фактичними результатами відпрацювання досліджуваних ділянок лав.

Реалізація результатів роботи. Результати досліджень були використані при відпрацюванні 2 західної лави ш. «Краснолиманська» (західна частина пласту I_3 гор. 845 м), лави 1086 ш. «Дніпровська» (гор. 265 м пласт C_B^{10}) та 165 лави ш. «Степова» (пласт C_6 гор. 490 м).

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно сформульовані мета, ідея, задачі досліджень та наукові положення; розроблені математична модель і методика досліджень; проведений аналіз результатів натурних, лабораторних та чисельних експериментів; розроблені та видані рекомендації щодо методики прогнозування мілкоамплітудних диз'юнктивних порушень непорушеної частини вуглепородного масиву, що засновані на інформаційній амплітудно-фазовій демодуляції несучих частот зонduючого сигналу, що пройшов крізь досліджуваний породний масив.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи докладені, обговорені і схвалені на міжнародних науково-технічних

конференціях: «Форум гірників» (Дніпропетровськ, 2011, 2012), «Проблеми гірництва та екології гірничого виробництва» (Антрацит, 2013), «Вдосконалення технологій будівництва шахт і підземних споруд» (Донецьк, 2013), «Техногенні катастрофи: моделі, прогноз, запобігання» (Дніпропетровськ, 2013), «Перспективи розвитку Восточного Донбасса» (Шахты, 2013), «Енергетика. Екологія. Людина» (Київ, 2013); Всеукраїнських конференціях: «Сучасні проблеми екології та геотехнологій» (Житомир, 2013), «Наукова весна – 2013» (Дніпропетровськ, 2013); міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і студентів: «Перспективи розвитку будівельних технологій» (Дніпропетровськ, 2013).

Публікації. За результатами виконаних досліджень опубліковано 16 наукових праць, в тому числі 6 у спеціалізованих виданнях і 10 у збірниках матеріалів конференцій.

Структура й обсяг. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел з 152 найменувань на 16 сторінках і 7 додатків на 18 сторінках. Включає 148 сторінок машинописного тексту, 83 рисунки і 5 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 213 сторінок.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** виконано аналіз актуальності поставленої задачі, сучасного стану розробок в області прогнозу мілкоамплітудних геологічних порушень вугленосної товщі та їх ефективності. Аналіз даних щодо газодинамічних явищ (ГДЯ), що сталися на шахтах Західного Донбасу з 2008 по 2013 рр. дозволив встановити, що крім інженерно-технологічного інтересу, це завдання важливе також для вирішення соціальної проблеми, що стосується безпеки при відпрацюванні вугільних пластів. Встановлено, що 77% ГДЯ пов'язані з геологічними порушеннями, причому з них 63% пов'язані з непрогнозованими. Тому виявлення прихованих геологічних порушень в недоторканій частині масиву є надзвичайно актуальним завданням, для вирішення проблеми ефективного і безпечного відпрацювання шахтного поля.

Для вирішення даної задачі розроблена низка методик, що дозволяють спрогнозувати приховані геологічні порушення: шахтна сейсмозвідка, електричний каротаж, свердловинна сейсмозвідка, геологічні і маркшейдерські засоби. Серед них найбільшого поширення набули геофізичні, оскільки вони є більш технологічними у відношенні до інших способів.

Вагомий внесок у вивчення, розробку та впровадження різноманітних методів прогнозування будови вуглепородних масивів внесли такі відомі дослідники як, В.А. Анциферов, А.В. Анциферов, В.О. Букринский, А.Ф. Булат, Є.С. Ватолін, О.О. Глухов, В.Є. Крупін, Т.А. Паламарчук, В.К. Поляков, В.В. Ржевский, А.Д. Рубан, С.І. Скіпочка, М.Г. Тиркель, В.К. Хохолєв, В.Л. Шкуратник, Є.Ф. Шкурський, Д.В. Яковлєв, А.О. Яланський, В.С. Ямщиков та ін.

З урахуванням певного кола невирішених проблем і можливих напрямків пошуку у висновках сформульовані цілі і задачі досліджень.

У другому розділі проведено аналіз природних факторів і причин, що впливають на зміну структури сигналу. Вугільний масив розглядається як хвилевод, а тектонічні порушення в ньому – як розрив його суцільності. Розрив суцільності хвилеводу призводить до дисперсії коливальної енергії акустичного сигналу. Цей факт дозволяє розглядати геоакустику як найперспективніший спосіб зондування масиву, оскільки, виділивши інформаційну складову, відповідальну за будову досліджуваного об'єкта, можна з високою надійністю прогнозувати мілкоамплітудну тектоніку. Для вирішення даної задачі застосовуються різні способи обробки акустичного сигналу.

У роботі була вирішена задача визначення кількості фактичних вимірювань, на основі яких можна із заданою вірогідністю стверджувати про наявність або відсутність геологічного порушення. Для цього був використаний класичний метод статистики з використанням $t_{\text{Стьюд}}$ – критерія Стьюдента.

Були виконані 2 еталонних оцінювання об'єкта з умовою а) порушення є і б) порушення відсутнє (рис.1).

Для кожного випробування, що підтверджує або не підтверджує порушення, у разі його наявності, були обчислені середні значення \bar{x} і його дисперсія та, аналогічно, у разі його відсутності були прораховані середні значення \bar{y} і його дисперсія. Таким чином отримано два розподіли: \bar{x} і його дисперсія, \bar{y} і його дисперсія

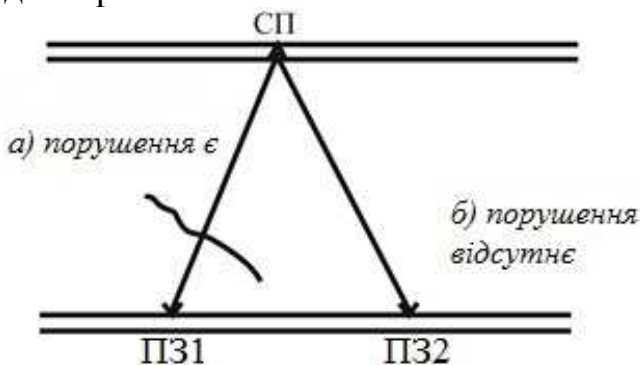


Рис.1. Схема еталонного оцінювання об'єкта

Далі виконано фактичне опробування обсягу n_1 . При цьому частина експериментів підтвердила наявність порушення (n_2), частина ні ($n_1 - n_2$). Для кожного випадку прораховувалися моменти розподілу. Потім визначалася відмінність середніх значень \bar{x} і \bar{z} , \bar{y} і \bar{z} за критерієм Стьюдента, а для перевірки обчислювалися статистики Стьюдента різниць середніх значень:

$$t_{\text{Стьюд}}(x) = \frac{|\bar{x} - \bar{z}|}{S_{d_1}} \quad \text{і} \quad t_{\text{Стьюд}}(y) = \frac{|\bar{y} - \bar{z}|}{S_{d_2}},$$

де

$$S_{d_1} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + \sum_{j=1}^n (z_j - \bar{z})^2}{(n+n_1-2)}} * \frac{n+n_1}{n*n_1}, \quad S_{d_2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 + \sum_{j=1}^n (z_j - \bar{z})^2}{(n+n_1-2)}} * \frac{n+n_1}{n*n_1}.$$

Визначивши число ступенів свободи, обчислюється $t_{\text{Стьюд. критичн.}}$, при заданій довірчій ймовірності 0,95. При деякому числі фактичних експериментів досягаємо такого значення $t_{\text{Стьюд.}}(x)$ або $t_{\text{Стьюд.}}(y)$, яке менше $t_{\text{Стьюд. критичн.}}$. В результаті отримуємо наступну нерівність:

$$\begin{aligned} t_{\text{критичн. стьюд.}} > t_{\text{स्थ्यд.}}(x) &\rightarrow \text{порушення } \epsilon; \\ t_{\text{критичн. стьюд.}} > t_{\text{स्थ्यд.}}(y) &\rightarrow \text{порушення відсутнє.} \end{aligned}$$

За результатами моделювання процесу випробувань можна стверджувати, що для досягнення заданої довірчої ймовірності 0,85 необхідно провести 18 фактичних вимірювань, а для досягнення довірчої ймовірності 0,95 – 56 фактичних вимірювань в кожній точці простору, що аналізується.

У **третьому розділі** наведені результати аналізу інформаційної складової акустичних хвиль, що пройшли крізь структурно неоднорідний породний масив.

У роботі були проведені дослідження можливості застосування вейвлет-перетворення для виділення інформаційної складової зондуючого акустичного сигналу, що пройшов крізь вуглепородний масив, що відповідає за структурні його особливості. За результатами даних досліджень зроблений висновок щодо недоцільності використання даної обробки, оскільки цей спосіб занадто трудомісткий, що виключає можливість його оперативного застосування.

У роботі в основу була покладена гіпотеза існування процесу фазової модуляції штучно генерованого акустичного сигналу під час його проходження крізь зондуючий масив. Для підтвердження гіпотези і для виділення зі структури сигналу інформаційної складової, яка відповідає за порушення, виконувалася демодуляція з використанням методу низькочастотного еквіваленту. Цей спосіб обробки успішно застосовується для вирішення такого роду задач в радіотехніці.

За своєю суттю модуляція акустичного сигналу є процесом зміни одного або декількох параметрів високочастотного несучого коливання за законом низькочастотного інформаційного сигналу таким чином, що інформація що передається закладена в моделюючому сигналі, а роль переносника інформації виконує високочастотне коливання. А демодуляція - процес, зворотний модуляції коливань, перетворення модульованих коливань несучої частоти в коливання з частотою модулюючого сигналу.

Спираючись на результати теоретичних досліджень хвильовий пакет в бездисперсійному середовищі виражається у вигляді:

$$u(x, t) = \sum_{i=1}^n A_i(x, t) \cos(k_i x - \omega_i t), \quad (1)$$

а в дисперсійному середовищі:

$$u_j(x, t) = \sum_{i=1}^n A_i(x, t) \cos[\omega_i k_i t + \Psi_i(t)], \quad (2)$$

де вираз під знаком косинуса є повна фаза, яка є інформаційним сигналом, тому що відображає інформацію про поточну зміну фази сигналу. Таким чином, досліджуваний сигнал можна записати наступним виразом:

$$\bar{u}(x, t) = M d_{\Psi} \left[\sum_{i=1}^m A_i(x, t) \cos[\omega_{k_i} t + \Psi_i(x, t)] \right], \quad t \in [T_0], \quad (3)$$

де $\Psi_i(t)$ – фазовий кут, ω_{k_i} – кутова частота. Тут $\Psi_i(x,t)$ пов'язано з ω_{k_i} через хвильову функцію, що містить інформаційну складову.

Спектральна щільність потужності сигналу обчислюється за формулою:

$$S(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{T_p} \bar{u}(x, t) e^{-[j\omega t + \Psi_i(t)]} dt. \quad (4)$$

Далі обчислюємо фазові характеристики низькочастотної огибаючої спектральної щільності потужності несучих частот:

$$\Psi_i(\omega_{k_i}, t) = \arg \left\{ \text{Hil} \left\{ A(t) \cos[\omega_0 t + \Psi_i(t)] e^{(-j\omega_0 t)} \right\} \right\}, \quad (5)$$

де $\text{Hil}\{*\}$ – обчислення перетворення Гільберта, $\arg\{*\}$ – обчислення аргументу функції. Дослідження функції повної фази необхідно проводити на інтервалі часу аналізу T_0 , протягом якого основні спектральні параметри сигналів не зазнають істотних змін, тобто на інтервалі стаціонарності.

Дослідження низькочастотної огибаючої спектральної щільності потужності несучих частот і наступна її фазова демодуляція в середовищі Matlab дозволяє отримати фазові характеристики огибаючої, які несуть в собі інформаційну складову, відповідальну за структуру вугільного пласта. На рис. 2 та 3 показано як відрізняються ці фазові характеристики при наявності (рис. 2) і відсутності (рис. 3) порушення. У разі наявності порушення графік фазової характеристики має один глобальний екстремум, який суттєво відрізняється від інших – локальних – своєю першою похідною. Причому, при фазовій демодуляції максимальна амплітуда несучої частоти іноді буває менш інформативна, ніж бічні, тому в програмі оцінки нижніх частот розрахунок функції повної фази низькочастотних спектральних складових, здійснюється за чотирма несучим з максимальною амплітудою, а серед них обирається одна – з найбільш різкою зміною сигналу. На основі їх аналізу робиться висновок про те, що на згинанні функції відображається злом характеристики. За допомогою даної програми розраховується часова характеристика сигналу.

Описана точка екстремуму виникає в певний час розповсюдження штучного сигналу. Маючи дані про місцезнаходження джерела сигналу в той момент часу і приймача і швидкість поширення акустичної хвилі в хвилеводі можна визначити координати відповідної точки розривного порушення.

У **четвертому розділі** розроблена методика проведення геолокаційних досліджень в умовах вугільних шахт Західного Донбасу.

Дана методика адаптована під будь-який спосіб генерування штучного акустичного зондуючого сигналу.

Для проведення досліджень використовується апаратура передачі сейсмоакустичного сигналу АПСС-1. 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 та

обробки в персональний комп'ютер, регулювання рівня посилення сигналу в блоці датчика, передачу мовної інформації в вибій, забезпечення контролю за станом лінії зв'язку, прослуховування інформації, що надходить, маркування запису.

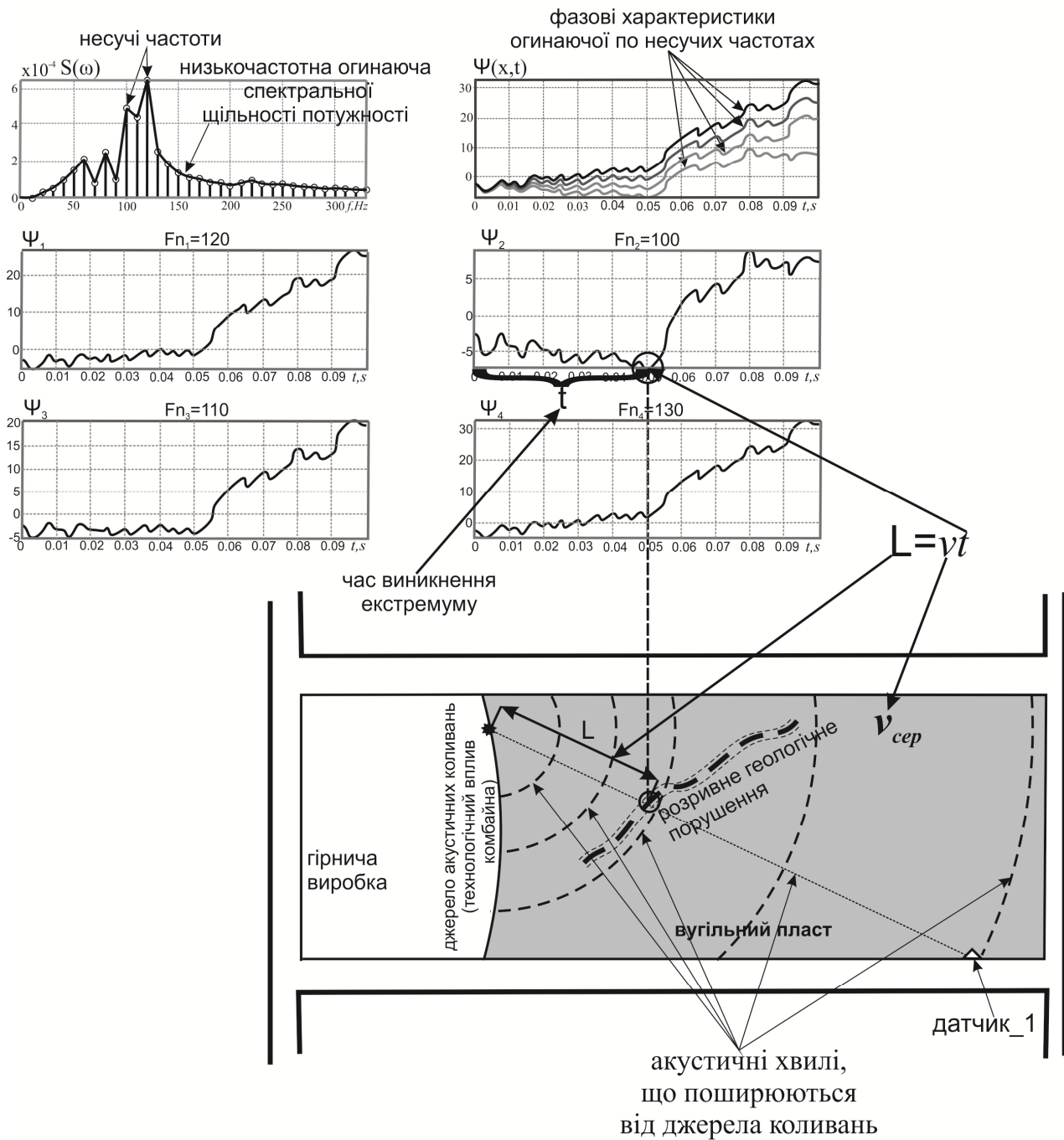


Рис. 2. Функції спектральної щільності потужності і повних фаз при наявності геологічного порушення у вугільному пласті

Розроблена методика була адаптована для кожної ділянки досліджень, з урахуванням всіх гірничо-геологічних особливостей тієї чи іншої шахти. Залежно від способу генерування сигналу, дослідження розбиваються на цикли.

У кожній шахті проводяться попередні підготовчі роботи, пов'язані з налагодженням лінії зв'язку і підготовляються шпури для фіксації датчика.

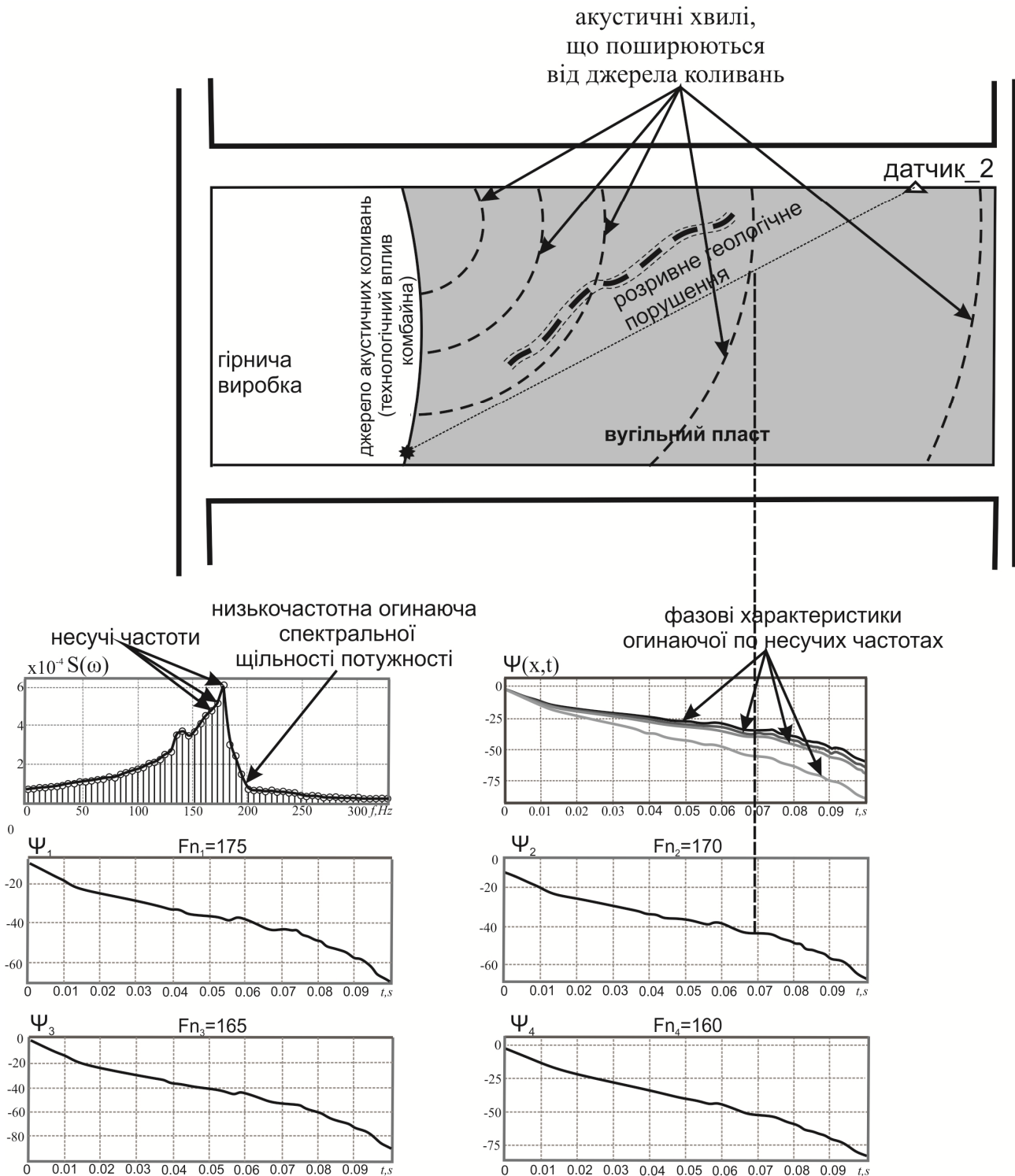


Рис. 3. Функції спектральної щільності потужності і повних фаз при відсутності геологічного порушення у вугільному пласті

Найважливішими факторами, що впливають на якість записаного сигналу, є щільний контакт чутливого елемента датчика з масивом без повітряних проміжків і заздалегідь налагоджена лінія зв'язку, яка не повинна бути заземлена, перевищувати 10 км і повинна мати питомий опір не більше 75 Ом/км. Важливу роль в успішній обробці отриманого сигналу, відіграє наявність системи УТАС (уніфікована телекомунікаційна система

диспетчерського контролю та автоматизованого керування гірничими машинами і технологічними комплексами) на шахтах і можливість синхронізації з нею, оскільки вона забезпечує точну і достовірну інформацію про місцезнаходження комбайна в будь-яку відмітку часу. Таким чином, виконавши всі підготовчі заходи, описані в методиці, забезпечується якість отриманої в процесі досліджень акустичної інформації.

За результатами досліджень була розроблена методика прогнозу розривних геологічних порушень у вугільних пластах методом акустичної геолокації, яка містить такі пункти:

1. Аналіз первинної (прогнозна) інформації про стан ділянок виробок, що перебувають у складних гірничо-геологічних умовах.
2. Вибір об'єкта досліджень.
3. Синхронізація наземного блоку апаратури з УТАС на шахті.
4. Підготовка лінії зв'язку.
5. Розробка схеми розташування датчиків з урахуванням умов досліджуваної ділянки.
6. Підготовка шпурів для встановлення датчиків.
7. Проведення натурних вимірювань в шахті.
8. Визначення швидкості поширення акустичних хвиль у досліджуваному вугільному пласті.
9. Обробка даних:
 - а) координатна прив'язка кожного сигналу відносно досліджуваної ділянки з використанням даних з УТАС;
 - б) обробка кожного сигналу в пакеті MatLab;
 - в) аналіз результатів обробки в MatLab і вибір інформативної складової (згідно першого наукового положення);
 - г) визначення координат геологічних порушень (згідно другого наукового положення);
10. Побудова графічної інтерпретації отриманих вимірювань на досліджуваній ділянці з використанням програми Surfer.
11. Аналіз графічної інтерпретації отриманих вимірювань і виокремлення порушень.
12. Передача результатів геологічній службі шахти.

У **п'ятому розділі** виконані дослідження структури недоторканої області лави 1086 на шахті «Дніпровська» (гор. 265 м пласт C_B^{10}), 2-ої західної лави (з.ч. пл. I_3 гор. 845 м) на шахті «Краснолиманская» і 165 лави (пласт C_6 гор. 490 м) шахти «Степова».

Для зручності проведення експериментальних акустичних вимірювань були обрані лави, в яких вже були бортовий і збірний штреки і були прокладені лінії зв'язку. Наявність таких виробок забезпечувало можливість акустичного попикетного «просвічування» масиву.

Для проведення досліджень в лавах заздалегідь були підготовлені до вимірів шпури на обраних пікетах. Збудження штучного зондуючого сигналу здійснювалося кількома способами: за допомогою вибухової речовини, ударом

механічним інструментом по піці, попередньо забитої у вугільний пласт, ріжучим механізмом працюючого комбайна і струга в процесі виїмки вугілля.

Функція енергії хвильового пакета, диспергованого у вуглепородному масиві, фіксувалася датчиком, розташованим на іншій стороні масиву. Сигнали датчиків передавалися на поверхню, де синхронно перетворювалися в цифрову форму з параметрами: динамічний діапазон квантування 16 біт, частота дискретизації $f_d = 41100\text{Hz}$ і записувалися на ПК.

Обробка інформації полягала у взаємній ув'язці всіх зареєстрованих даних з метою отримання цілісної картини процесу зміни структури масиву. На рис. 4 наведений приклад функції одного з прийнятих сигналів.

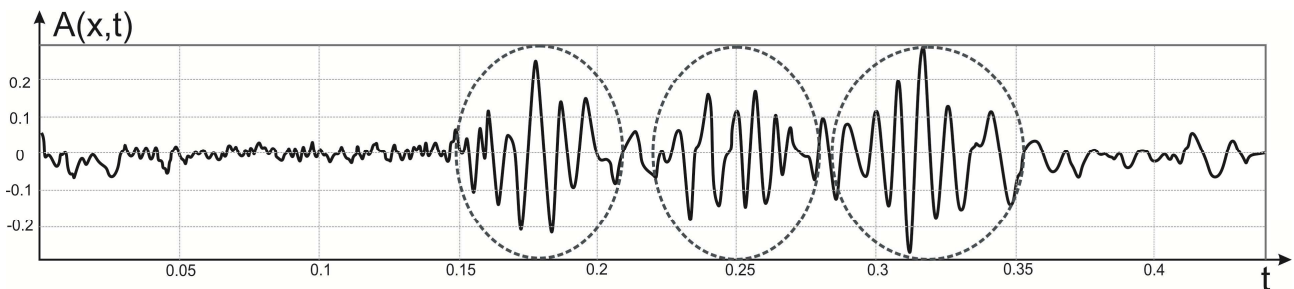


Рис. 4. Приклад зареєстрованого сигналу

Аналіз сигналів дозволив зробити висновок про те, що сигнали містять 3-4 хвильових пакета, перший з яких є інформаційним, решта викривлені віддзеркаленнями від стінок хвилеводу. Сигнали для всіх пікетів відмінні один від одного, що відповідає різній будові досліджуваної ділянки вугільного масиву.

На рис. 5 наведено приклад результатів обробки зареєстрованих сигналів на досліджуваній ділянці лави 165 шахта «Степова».

На рис. 5 а – спектральна щільність потужності сигналу, що визначається на інтервалі часу поширення хвильового пакета $u_m(t)$ в хвилеводі вуглепородного масиву на прямій від джерела штучно генерованого сигналу до приймача; б – сумарні графіки девіації повної фази, в, г, д та е – фазові характеристики зміни повних фаз (над ними вказана частота несучої в Гц).

Координатна і тимчасова прив'язка сигналів здійснювалася за допомогою системи УТАС. Серед її функцій є передача, обробка і відображення на диспетчерському пункті місцезнаходження струга в кожен момент часу. Дані безперервно записуються і зберігаються, що дозволяє використовувати їх для інтерпретації зареєстрованих даних. Для цього була проведена синхронізація часу на працюючій системі УТАС і на ПК, до якого був підключений наземний блок приймального пристрою.

Відповідно до висновків аналізу фазових характеристик низькочастотних огинаючих спектральної щільності потужності несучих частот, обчислюваних методом низькочастотного еквівалента, були розроблені прогнозні карти геологічних порушень на досліджуваних ділянках. Приклад оцінки структури досліджуваної ділянки лави 165 на шахті «Степова» наведено на рис. 6.

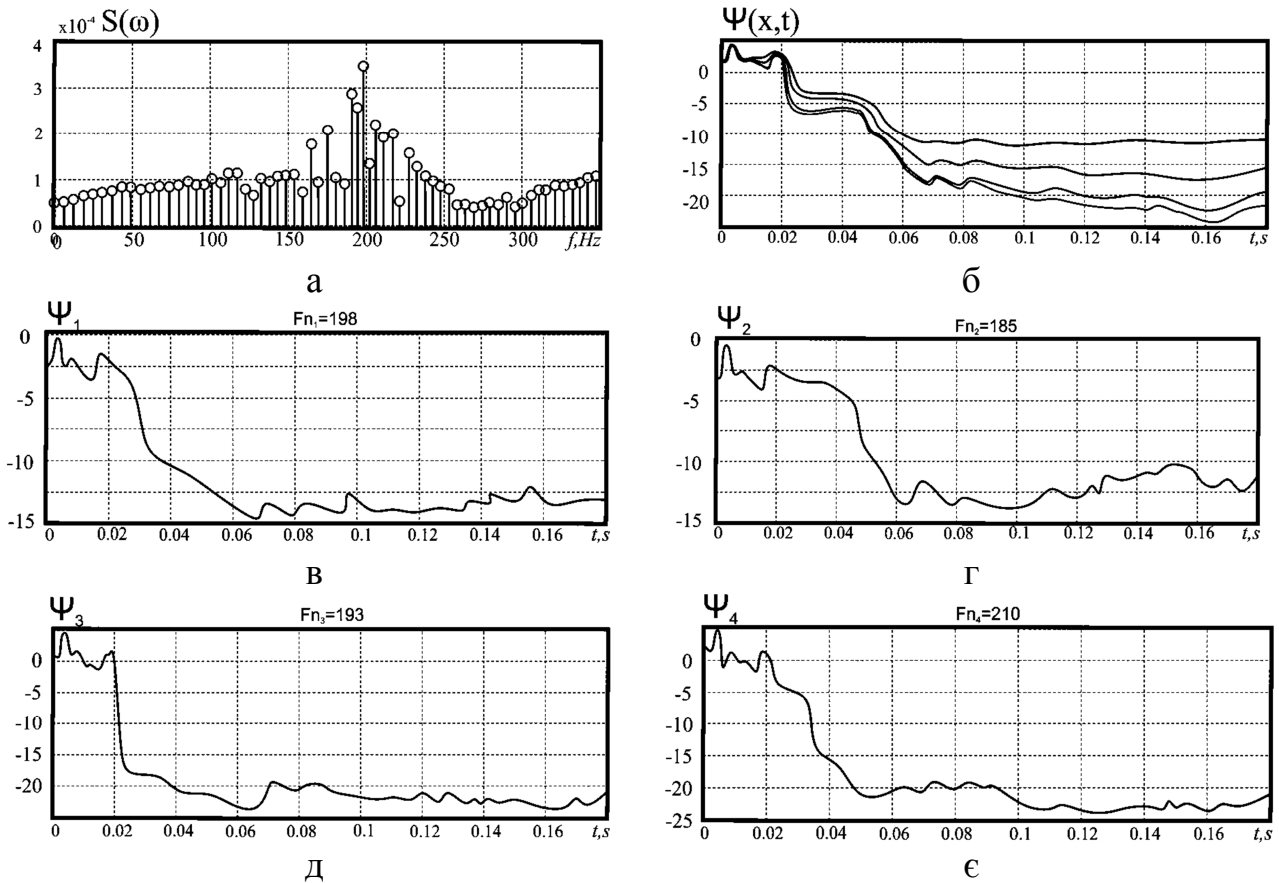


Рис. 5. Функції спектральної щільності потужності і повних фаз сигналу по лінії спостереження Д160ТУ140 (ТУ4_Д2)

Аналіз наведених експериментальних даних показує, що на шахті Дніпровська, частина спрогнозованих порушень (62%) виявлена відпрацюванням, а виявлені порушення (38%) не були спрогнозовані, оскільки не були присічені лініями спостережень. Цей факт на практиці доводить актуальність вирішеної в роботі задачі визначення кількості фактичних спостережень в кожній точці досліджуваного простору.

Порівняльний аналіз експериментальних досліджень на шахті «Краснолиманська» показує 95% збігу прогнозу та виявлених порушень. Не виявлені порушення знаходяться в зоні сильного роздрібнення вугільного пласту. Базуючись на цьому аналізі, зроблено висновок про необхідність напрацювання великої кількості експериментальних досліджень у зонах сильного роздрібнення, з метою виділення в структурі сигналу зближених порушень, відстань між якими не перевищує 10 м.

Результати порівняльного аналізу оцінки структури досліджуваної ділянки з викопіюванням з фактичного паспорту відпрацювання на шахті «Степова» показує, що дана методика дозволяє визначити порушення з амплітудою до 3 м, оскільки порушення 2 і 3 – це розвідувальні свердловини малого діаметру, а в структурі хвилеводу вони теж є розривом його суцільності, тому дана методика підтверджує свою високу ефективність для прогнозу мілкоамплітудної тектоніки вугільного пласту.

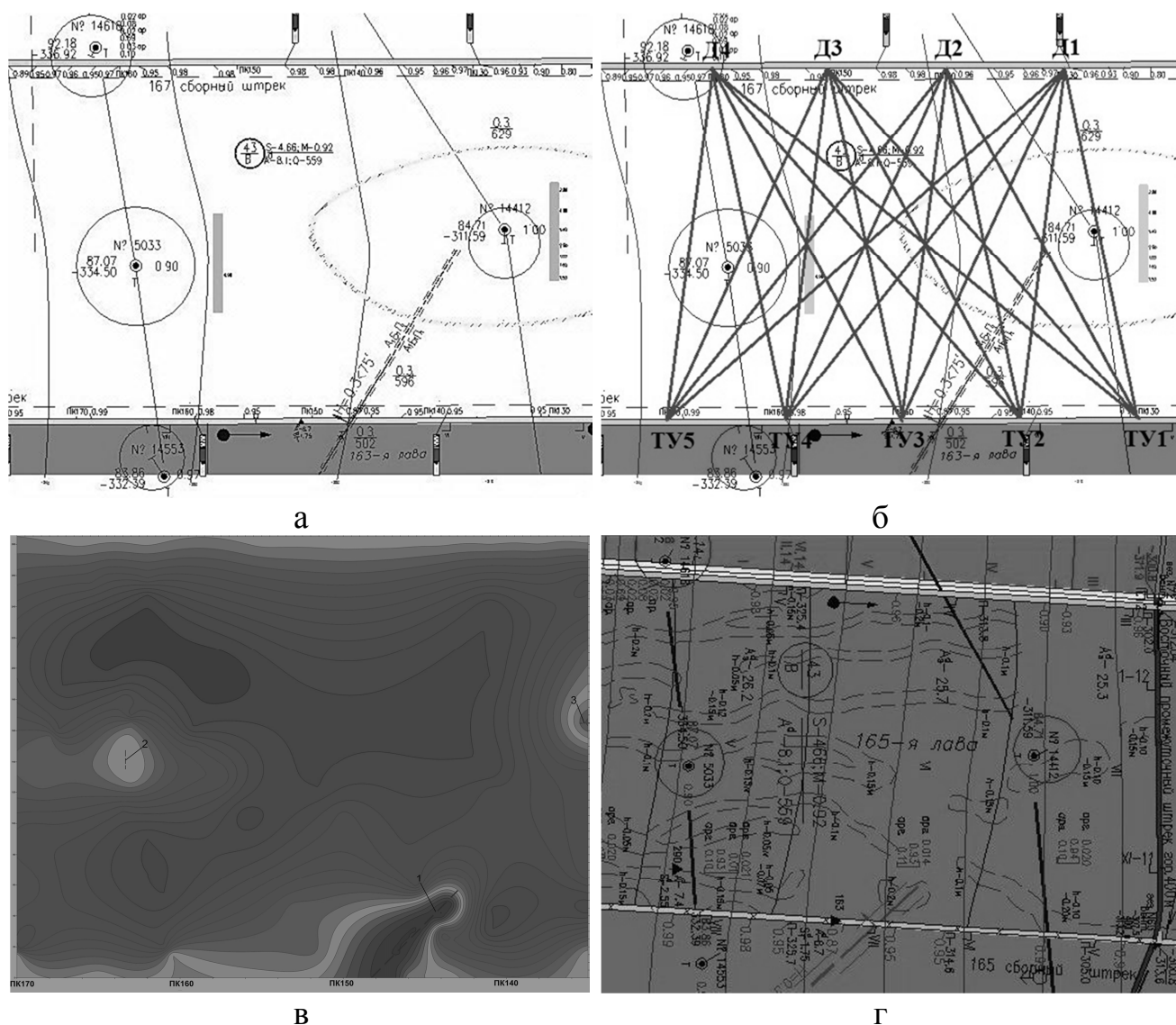


Рис. 6. Досліджувана ділянку лави 165 (гор. 490 м пласт C_6) шахта «Степова»: а – план відпрацювання лави; б – схема проведення вимірювань; в – оцінка структури пласта; г – вкопійювання з фактичного паспорта відпрацювання

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей між інформаційною складовою у функціях модуляційних параметрів штучно генерованого акустичного сигналу та координатами розташування прихованого геологічного порушення у непорушеній частині вугільного пласту для умов пологозалягаючих вугільних пластів Донбасу вирішене актуальне науково-технічне завдання прогнозу структури вугільних пластів на етапі їх відпрацювання.

Основні наукові й практичні результати роботи полягають в наступному:

1. Доведено, що амплітудно-фазова модуляція низькочастотних огинаючих спектральної щільності потужності несучих частот зонduючого сигналу, що пройшов через досліджуваний породний масив є інформаційною щодо наявності розривних неоднорідностей в хвилеводі.

2. Запропонована математична модель поширення акустичного хвильового пакета в дисперсійному породному середовищі, що відрізняється від відомих тим, що заснована на інформаційній амплітудно-фазовій модуляції несучих частот зондуючого сигналу, адекватно описує поширення сигналу в хвилеводі зі структурними неоднорідностями.

3. Розроблено нову методику обробки сигналу хвильового пакета, що пройшов крізь структурно-неоднорідний породний масив, який базується на фазовій демодуляції функції низькочастотної огинаючої спектральної щільності потужності методом низькочастотного еквівалента, що дозволяє визначити геометричні параметри неоднорідностей і прогнозування зон аномальних концентрацій напружень при проходженні виробок в зонах геологічних порушень.

4. Встановлено функціональний зв'язок між інформаційною складовою штучно генерованого акустичного сигналу і параметрами розривного геологічного порушення. Цей зв'язок виражається у вигляді функції низькочастотної огинаючої спектральної щільності потужності несучих частот, яка обчислюється методом її інформаційної амплітудно-фазової демодуляції (метод низькочастотного еквівалента). За глобальним екстремумом на графіку фазової характеристики низькочастотної огинаючої спектральної щільності потужності несучих частот визначається координата місцезнаходження диз'юнктиву у вугільному пласті.

5. Перевагами запропонованого способу є його оперативність, економічність і невтручання у виробничий процес відпрацювання досліджуваної ділянки.

6. За результатами дослідження можливості прогнозування геологічної будови вуглепородного масиву методом акустичної геолокації встановлено, що мінімальна кількість фактичних вимірювань через одну шукану точку має бути 18 – для досягнення довірчої ймовірності 0,85 і 56 – для досягнення довірчої ймовірності 0,95.

7. Розроблена методика підтвердила свою працездатність і високу ефективність для томографії недоторканої області вугільного масиву на шахтах «Дніпровська», «Степова» та «Краснолиманська». З порівняльного аналізу можна зробити висновок про те, що для даної методики вкрай важлива щільність мережі спостережень і наявність системи УТАС для надійної координатної прив'язки джерела штучного зондуючого сигналу (комбайну).

Основні положення й результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Мачула М.С. Особенности признаков и свойств вейвлетов, позволяющие использовать их при анализе волновых процессов в породном массиве / Мачула М.С. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць / Ін-т Геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2011. – Вип. 95. – С. 96-102.

2. Дубицкая М.С. Математическая модель огибающей виброакустического зондирующего сигнала неоднородного породного массива / Шашенко А.Н.,

Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2013. – №1. – С. 57-61. (Наукометрична база даних Scopus)

3. Дубицкая М.С. Анализ математической модели модуляции погной фазы огибающей виброакустического зондирующего сигнала в задаче геолокации дисперсионных свойств неоднородного породного массива / Шашенко А.Н., Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Науковий вісник НГУ.– Днепропетровск, 2013. - № 2. – С.68-73. (Наукометрична база даних Scopus)

4. Дубицкая М.С. Анализ структуры угольного пласта методом акустической геолокации / Шашенко А.Н., Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск, 2013. – № 3. – С.65-71. (Наукометрична база даних Scopus)

5. Дубицкая М.С. Пути повышения надежности метода акустической геолокации / Эрперт А.М., Дубицкая М.С. // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського – Кременчук : КрНУ, 2013. – Випуск 3 (80). – С. 158-161.

6. Дубицкая М.С. Акустическая геолокация как часть системы геомеханического мониторинга / Шашенко А.Н., Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Научный вестник МГГУ – Москва : МГГУ, 2013. – № 8 (41). – С. 118-126.

7. Мачула М.С. Актуальность, особенности применения, методика и эффективность акустического зондирования в условиях шахт Украины / М.С. Мачула // Матеріали міжнар. конф. “Форум гірників – 2011”. – Дніпропетровськ, 2011. – Т.2. – С. 58-62.

8. Дубицкая М.С. Актуальность, особенности применения, методика и эффективность акустического зондирования в условиях шахт Украины / М.С. Дубицкая // Матеріали міжнар. конф. “Форум гірників – 2012”.– Дніпропетровськ, 2012. – Т.2. – С. 163-166.

9. Дубицкая М.С. Анализ виброакустического зондирующего сигнала неоднородного породного массива первым приближением функции Грина / Шашенко А.Н., Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Матеріали 7-мої Міжнар. наук.-практ. конф. «Перспективи розвитку будівельних технологій». – Дніпропетровськ, 2013. – С. 19-20.

10. Дубицкая М.С. Перспективы использования акустической геолокации для прогноза разрывных геологических нарушений в угольных пластах / Шашенко А.Н., Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы горного дела и экологии горного производства». – Антрацит, 2013. – С. 120-124.

11. Дубицкая М.С. Возможности применения акустической геолокации для прогноза и предупреждения подземных катастроф / Шашенко А.Н., Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Матеріали 3-ї міжнародної науково-технічної конференції «Техногенні катастрофи. Моделі, прогноз, запобігання». – Дніпропетровськ, 2013. – С. 95-100.

12. Дубицкая М.С. Анализ низкочастотных и высокочастотных информационных составляющих виброакустического сигнала / Шашенко А.Н., Журавлев В.Н., Дубицкая М.С. // Материалы IV-й Международной и 62-й

Всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития Восточного Донбасса». – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2013. – С. 52-55.

13. Дубицкая М.С. Анализ полной фазы высокочастотных несущих мод виброакустического сигнала, прошедшего угольный массив с геологическими нарушениями / М.С. Дубицкая // Тези Х Всеукраїнської наукової конференції студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнологій». – Житомир: ЖДТУ, 2013. – С. 322.

14. Дубицкая М.С. Анализ полной фазы низкочастотных несущих мод виброакустического сигнала, прошедшего угольный массив с геологическими нарушениями / Дубицкая М.С. // Материалы Международной науч.-техн. конф. «Совершенствование технологи строительства шахт и подземных сооружений». – Донецк: «Норд – Пресс», 2013. – С. 95-98.

15. Дубицкая М.С. Мониторинг невыявленных геологических нарушений угольных пластов методом геоакустики / М.С. Дубицкая // Материалы IV Всеукр. науч.-техн. конф. “Наукова весна – 2013”. – Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «НГУ», 2013. – С. 199-200.

16. Дубицкая М.С. Методика проведения геолокационных исследований в условиях угольных шахт Украины / Шашенко А.Н., Дубицкая М.С. // Перспективы развития горного дела и подземного строительства. Сб. научн. трудов. – Київ: Підприємство УВОІ «Допомога» УСІ», 2013. – Вип. 4. – С. 97-102.

Особистий внесок здобувача в роботах, написаних у співавторстві: [2, 3, 4] – формулювання основних задач, проведення натурних досліджень; [5] – формулювання основних задач, виконання аналітичних досліджень аналіз результатів; [6, 9, 11] – виконання аналітичних досліджень, розробка методики і проведення шахтних досліджень та чисельних експериментів, аналіз результатів; [8, 10] – виконання аналітичних досліджень, аналіз результатів; аналіз результатів, розробка конструктивних рішень; [12, 16] – розробка методики і проведення чисельних досліджень, аналіз результатів;

АНОТАЦІЯ

Дубицька М.С. Вдосконалення способу прогнозу диз'юнктивних порушень методом акустичної геолокації при відпрацюванні пологозалягаючих вугільних пластів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.09 – «Геотехнічна і гірнична механіка». Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Міністерства освіти і науки, Дніпропетровськ, 2014.

У дисертації вирішене актуальне науково-технічне завдання підвищення ефективності прогнозу мілкоамплітудних геологічних порушень вугільних пластів методом неруйнівного контролю до 95%.

Запропонована і обґрунтована математична модель розповсюдження акустичного хвильового пакету в дисперсійному породному середовищі,

заснована на інформаційній амплітудно-фазовій модуляції несучих частот зонduючого сигналу.

Розроблено ефективний спосіб прогнозу прихованих диз'юнктивів у вугільних пластах методом неруйнівного контролю. У його основу покладено аналіз особливостей прояву розривних геологічних порушень у функціях модуляційних параметрів сигналу, який отримано в результаті акустичного зондування вуглепородного масиву.

Закономірності, отримані в результаті досліджень використані для розробки рекомендацій щодо тектонічної будови вугільних пластів для шахт «Дніпровська», «Краснолиманська» та «Степова».

Ключові слова: акустична геолокація, мілкоамплітудні геологічні порушення, зонduючий сигнал, модуляційні характеристики сигналу, амплітудно-фазова модуляція, низькочастотний еквівалент, фазова демодуляція.

АННОТАЦІЯ

Дубицкая М.С. Совершенствование способа прогноза дизъюнктивных нарушений методом акустической геолокации при отработке пологозалегающих угольных пластов. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.15.09 – «Геотехническая и горная механика». Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, 2014.

В диссертации решена актуальная научно-техническая задача повышения эффективности прогноза малоамплитудных геологических нарушений угольных пластов методом неразрушающего контроля до 95%.

Организованы и проведены комплексные шахтные, лабораторные и аналитические исследования распространения акустических колебаний в сложноструктурном породном массиве с геологическими нарушениями при использовании различных способов генерации зондирующего акустического сигнала.

Впервые доказан факт информационной амплитудно-фазовой модуляции низкочастотных огибающих спектральной плотности мощности несущих частот зондирующего сигнала, прошедшего через исследуемый породный массив.

Предложена и обоснована математическая модель распространения акустического волнового пакета в диспергирующей породной среде, отличающаяся от известных тем, что основана она на информационной амплитудно-фазовой модуляции несущих частот зондирующего сигнала.

Предложена методика обработки сигнала волнового пакета зондирующего сигнала, прошедшего сквозь структурно-неоднородный породный массив, отличающаяся от известных тем, что в ее основу заложена фазовая демодуляция функции спектральной плотности мощности с применением метода низкочастотного эквивалента. Методика позволяет определить

геометрические параметры неоднородностей при прохождении выработок в зонах геологических нарушений.

Установлено, что исследование низкочастотной огибающей спектральной плотности мощности несущих частот и последующая ее фазовая демодуляция в среде Matlab позволяет получить фазовые характеристики огибающей, которые несут в себе информационную составляющую, отвечающую за структуру угольного пласта. Доказано, что в случае наличия нарушения график фазовой характеристики имеет один глобальный экстремум, который существенно отличается от остальных – локальных – своей первой производной. Причем, при фазовой демодуляции максимальная амплитуда несущей частоты иногда бывает менее информативна, чем боковые, поэтому в программе оценки нижних частот расчет функции полной фазы низкочастотных спектральных составляющих, осуществляется по четырем несущим с максимальной амплитудой, а среди них выбирается одна – с наиболее резким изменением сигнала. На основе их анализа сделан вывод о том, что на изгибе функции отражается излом характеристики.

Доказано, что точка глобального экстремума фазовой характеристики низкочастотной огибающей спектральной плотности мощности несущих частот, вычисляемая методом низкочастотного эквивалента, определяет местонахождение разрывного геологического нарушения в угольном пласте с надежностью не менее 0.95, что позволяет существенно повысить надежность прогноза геоакустическим методом.

Описанная точка экстремума возникает в определенное время распространения искусственного сигнала. Имея данные о местонахождении источника сигнала в момент времени его прохождения сквозь массив, местонахождении приемника и скорость распространения акустической волны в волноводе можно определить координаты соответствующей точки разрывного нарушения. Основываясь на анализе данного экстремума установлено, что координаты разрывного нарушения на прямой от источника искусственно генерируемого сигнала до приемника в плоскости волновода определяются произведением средней скорости распространения акустического колебания в угольном пласте и временем, соответствующем возникновению глобального экстремума фазовой характеристики низкочастотной огибающей спектральной плотности мощности несущих частот, что позволяет определить геометрические параметры разрывного нарушения в угольном пласте.

Разработан эффективный способ прогноза скрытых дизъюнктивов в угольных пластах методом неразрушающего контроля. В его основу положен анализ особенностей проявления разрывных геологических нарушений в функциях модуляционных параметров сигнала, который получен в результате акустического зондирования углепородного массива.

Закономерности, полученные в результате исследований использованы для разработки рекомендаций относительно тектонического строения угольных пластов для шахт «Краснолиманская» ГП «УК «Краснолиманская», «Днепровская» и «Степная» ПАО «ДТЭК Павлоградуголль».

Ключевые слова: акустическая геолокация, малоамплитудные геологические нарушения, зондирующий сигнал, модуляционные характеристики сигнала, амплитудно-фазовая модуляция, низкочастотный эквивалент, фазовая демодуляция.

ABSTRACT

Dubyts'ka M.S. Improving the method of disjunctive faults forecast by acoustic geolocation when mining gently sloping coal layers. – Manuscript.

Thesis for a scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.15.09 - Geotechnical and Mining Mechanical Engineering. – State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, 2014.

In the thesis, the actual scientific and technical problem of raising efficiency of low-amplitude geological disturbances forecast in coal layers by the method of non-destructive testing up to 95 % is solved.

The comprehensive mine, laboratory and analytical research concerning propagation of acoustic oscillations in the complex structured rock massif with geological faults by using different methods of probing acoustic signal generation are organized and conducted.

The mathematical model of spreading acoustic wave packet in the dispersion medium based on the information and amplitude-phase modulation of carrying frequencies of the probing signal is proposed and justified.

An effective method of the forecasting hidden disjunctives in coal layers by the method of non-destructive testing is developed. The method is based on the analysis of characteristic emergencies of geological faults in the functions of a signal modulation parameters obtained by acoustic probing of coal-rock massif.

The regularities obtained from the research results are used to develop recommendations regarding the tectonic structure of coal layers for mines "Dniprovsk", "Krasnolymanska" and "Stepova".

Keywords: acoustic geolocation, low-amplitude geological fault, probing signal, signal modulation characteristics, amplitude and phase modulation, low frequency equivalent, phase demodulation.

ДУБИЦЬКА Марія Сергіївна

Вдосконалення способу прогнозу диз'юнктивних порушень методом акустичної геолокації при відпрацюванні пологозалягаючих вугільних пластів

(Автореферат)

**Підп. до друку 22.01.2014. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 130 пр. Зам. № .**

**Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.**