

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

ТРОФИМОВ Віктор Валерійович



УДК 550.834:622.12

**ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ СЕЙСМІЧНОГО ПРОГНОЗУ
СТРУКТУРИ ПОРУШЕНЬ ВУГЛЕПОРОДНОГО МАСИВУ В
УМОВАХ ЗБЛИЖЕНИХ ПЛАСТІВ**

Спеціальність: 05.15.09 – Геотехнічна і гірнича механіка

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

Дніпропетровськ – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у відділі комп'ютерних технологій Українського науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України (м. Донецьк).

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

член-кореспондент НАН України, доктор технічних наук, директор Українського науково-дослідного та проектно-конструкторського інституту гірничої геології, геомеханіки і маркшейдерської справи НАН України (м. Донецьк)

АНЦИФЕРОВ
Андрій Вадимович

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ:

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник відділу механіки гірських порід Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України (м. Дніпропетровськ)

ПАЛАМАРЧУК
Тетяна Андріївна

доктор геологічних наук, доцент, завідувач кафедри геофізичних методів розвідки Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» (м. Дніпропетровськ)

ДОВБНІЧ
Михайло Михайлович

Захист відбудеться «29» березня 2013 р. о 12.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.04 з захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки молоді та спорту України за адресою: 49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19, тел. (0562) 47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (49027, м. Дніпропетровськ, пр. К. Маркса, 19).

Автореферат розісланий 28 лютого 2013 р.

Вчений секретар
 спеціалізованої вченої
 ради Д 08.080.04



О.В. Солодянкін

ТРОФИМОВ Віктор Валерійович

**Обґрунтування критеріїв сейсмічного прогнозу структури порушень
вуглепородного масиву в умовах зближених пластів**

(Автореферат)

**Підп. до друку 26.02.2013. Формат 60x90/16.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 120 пр. Зам. № .**

**Державний вищий навчальний заклад
«Національний гірничий університет»
49027, м. Дніпропетровськ, просп. К. Маркса, 19.**

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У цей час із поступовим збільшенням глибини розробки зростає роль негативних факторів, що ускладнюють ведення гірничих робіт. У першу чергу це тектонічні порушення, що суттєво впливають на технологію й процес відпрацювання вугільних пластів та зменшують ефективність і безпеку праці. Непередбачена зустріч геологічних порушень призводить не тільки до економічних втрат, але й часто є причиною аварійних ситуацій і пов'язаного з ними травматизму робочого персоналу вуглевидобувних підприємств.

Необхідність надійного прогнозу гірничо-геологічних умов залягання вугільних пластів, що відпрацьовуються, призвела до розробки сучасних геофізичних методів прогнозування, особливе місце серед яких займає сейсмозв'язка, яка відрізняється високою надійністю й ефективністю. До теперішнього часу накопичений значний досвід в галузі сейсмічних досліджень, отримані наукові й практичні результати, що суттєво розширили область застосування сейсмоакустичних методів у розвідці вугільних родовищ. Проте існуючі підходи проведення сейсмоакустичних експериментів та інтерпретації їхніх результатів не враховують вплив зближеного вугільного пласта на реєстровані сейсмоакустичні сигнали, що в деяких випадках призводить до недостовірних результатів. При цьому до 70 % вугільних пластів Донбасу робочої потужності має складну будову й не менш 40 % – зближений пласт з виконанням умов формування хвилеводу складної будови.

Беручи до уваги зазначені проблеми, розробка критеріїв сейсмоакустичного прогнозу структури й параметрів порушень зближених вугільних пластів Донбасу є актуальним науково-прикладним завданням, що має народне й практичне значення.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дана робота виконувалася в рамках наукових програм, тем НАН України, Мінвуглепрому України й Мінпаливенерго України: ІІІ – 13/07 «Розробка методології сейсмічного прогнозу порушеності вугільних пластів з урахуванням напружено-здеформованого стану та властивостей гірського масиву» (№ ДР 0106U011434), РФ 1/08 «Теоретичні і експериментальні дослідження процесів формування геодинамічних небезпечних зон у масиві гірських порід і розробка фундаментальних основ моніторингу гео- і газодинамічних явищ при гірничих роботах» (№ ДР 0108U003283), 17/12 «Розробка теоретичних основ застосування дифрагованих хвильових полів для прогнозу структури масиву гірських порід методом сейсмічної локації» (№ ДР 0111U010238); цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Використання 3D сейсмозв'язки з метою промислового видобування газу та дегазації вугільних пластів» науково-технічного проекту «Проведення 3D сейсмозв'язки та побудова просторових геолого-геофізичних моделей масиву вуглевміщувальних порід для виявлення скупчень газу в складних структурно-тектонічних умовах малих глибин і

малоамплітудної тектонічної порушеності тонкошаруватого розрізу шахтних полів Донбасу» (№ ДР 0110U004290).

Мета роботи – визначення критеріїв сейсмоакустичного прогнозу структури й параметрів дрібноамплітудних диз'юнктивних порушень при підземній розробці зближених вугільних пластів Донбасу.

Ідея роботи – підвищення якості сейсмоакустичного прогнозу за рахунок урахування особливостей формування сейсмоакустичних хвильових полів в умовах зближених вугільних пластів.

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

- виконати аналіз сучасного стану розробок в галузі сейсмоакустичного прогнозу структури й стану вугленосної товщі, що містить зближені вугільні пласти;

- розробити сейсмогеологічні моделі типових гірничо-геологічних умов залягання зближених вугільних пластів Донбасу й фізико-математичні моделі, що описують процеси формування й поширення сейсмічних коливань у порушеному масиві гірничих порід;

- встановити закономірності впливу характеристик порушеного породного масиву зі зближеними вугільними пластами на параметри прохожих через нього сейсмічних хвильових полів;

- на основі встановлених закономірностей удосконалити методику оцінювання параметрів геологічних порушень в умовах зближених пластів;

- апробувати й оцінити ефективність і надійність отриманих теоретичних і методичних результатів при визначенні параметрів геологічних порушень в умовах зближених вугільних пластів на підприємствах Донбасу.

Об'єкт досліджень – фізичні процеси в породному масиві, що відображають вплив будови й параметрів вугленосного масиву на характеристики сейсмоакустичних хвильових полів.

Предмет досліджень – динамічні й кінематичні характеристики хвильових пакетів, що несуть інформацію про будову вугленосного масиву.

Методи досліджень. Застосований комплексний підхід, що включає аналіз існуючих розробок в галузі прогнозу будови й параметрів вугленосного масиву сейсмоакустичним методом, теорію механіки суцільних середовищ і пружності, аналітичні й чисельні методи розрахунків сейсмоакустичних хвильових полів, експериментальні методи збору, аналізу й інтерпретації результатів досліджень у шахтних умовах.

Основні наукові положення, що захищаються в роботі.

1. Амплітудно-частотні характеристики сейсмічних хвильових пакетів, утворених в умовах зближених пластів, мають поліноміальну залежність від типу й параметрів тектонічних порушень, що дозволяє використовувати їх як інструмент достовірного прогнозу диз'юнктивів.

2. Характеристики формованих хвилеводом складної будови бічних хвиль зсуву і каналових хвиль із частотами 200 – 500 Гц і швидкістю в діапазоні між швидкостями поширення хвиль зсуву у вугіллі й породному прошарку мають

нелінійну залежність від напрямку зсуву порушення, що дозволяє підвищити якість сейсмічного прогнозу й вчасно вносити зміни в технологію ведення очисних і прохідницьких робіт.

Наукова новизна отриманих результатів:

– уперше встановлено, що при потужності породного прошарку між зближеними вугільними пластами не більше 5 м прогноз будови вуглепородного масиву вимагає аналізу амплітудно-частотних характеристик каналових хвиль, утворених хвилеводом «пласти - породний прошарок»;

– уперше для умов зближених вугільних пластів установлено характерні структури, частотні й швидкісні характеристики хвильових полів, що дозволяє забезпечити вибір оптимальних умов проведення сейсмоакустичних експериментів для визначення стану й параметрів породного масиву;

– уперше теоретично встановлено, що для зближених вугільних пластів при розгляді хвилеводу складної структури можливе визначення напрямку зсуву уздовж зміщувача;

– удосконалено критерії прогнозу дрібноамплітудних тектонічних порушень вугленосного масиву зі зближеними вугільними пластами, що дозволило підвищити точність сейсмоакустичного прогнозу для умов Донбасу.

Наукове значення роботи полягає у встановленні закономірностей впливу зближеного вугільного пласта на інформативні характеристики сейсмічних хвильових полів з урахуванням характерних для Донбасу гірничо-геологічних умов залягання, будови й фізико-механічних характеристик вугільних пластів, що відпрацьовуються.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджують:

– відповідність розроблених теоретичних положень фундаментальним законам механіки суцільних середовищ, оптики й основам сейсмоакустичного методу;

– достатній обсяг достовірних результатів, отриманих на 4 шахтах Донбасу при проведенні сейсмоакустичних досліджень;

– задовільну збіжність результатів чисельного моделювання й обробки даних спостережень на діючих вуглевидобувних підприємствах Донбасу з досягненням надійності прогнозу не менше 80 %.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблений й впроваджений в практику сейсмоакустичного аналізу програмний засіб «Система моделювання й аналізу хвильових процесів, що протікають у гірському масиві при проведенні прогнозу сейсмоакустичним методом гірничо-геологічних умов залягання вугільних пластів».

2. Розроблені критерії й методичні рекомендації прогнозу структури й параметрів дрібноамплітудних тектонічних порушень в умовах зближених вугільних пластів Донбасу.

3. Розроблені узагальнені моделі 6 пластів чотирьох вугільних шахт Донбасу.

4. Результати робіт впроваджені на двох шахтах Донбасу.

Особистий внесок здобувача. Автором самостійно сформульована мета, ідея й задачі досліджень; розроблені фізико-математичні моделі; проведений аналіз процесу формування й поширення сейсмічних коливань у вугільних пластах; установлені закономірності взаємодії сейсмічних коливань із тектонічними порушеннями зближених вугільних пластів Донбасу; установлений характер зміни кінематичних, динамічних і спектральних характеристик хвильових пакетів різної природи; удосконалені й практично реалізовані методи шахтної сейсморозвідки, що базуються на використанні всієї сукупності хвильових пакетів, які становлять поле сейсмічних коливань; удосконалені методи аналізу матеріалів шахтної сейсморозвідки і інтерпретації результатів геофізичних досліджень. Розроблене програмне забезпечення моделювання хвильових процесів, у якому застосовані методи багатопотокової обробки даних для розв'язання задач шахтної сейсморозвідки.

Апробація результатів роботи. Основні результати роботи були представлені й обговорені на Міжнародних конференціях: 7-а Європейська вугільна конференція (Львів, 2008); Міжнародна конференція «Гео Дармштадт 2010» (Дармштадт, 2010); IX і X Міжнародні конференції «Геоінформатика: теоретичні й прикладні аспекти» (Київ, 2010, 2011); 3-я Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методи сейсморозвідки при пошуках родовищ нафти й газу в умовах складнопобудованих структур (Сейсмо-2012).

Публікації. Основні результати дисертації опубліковані в 12 друкованих працях, з них 6 – у спеціалізованих наукових журналах і збірках наукових праць; 1 авторське свідоцтво, 5 – у матеріалах і тезах виступів на наукових конференціях.

Структура й об'єм дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів і висновків. Вона містить 149 сторінок машинописного тексту, 57 рисунків й 6 таблиць, список використаних джерел з 154 найменувань на 18 сторінках, додатка на 3 сторінках. Загальний об'єм дисертації складає 183 сторінки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **першому розділі** виконаний аналіз сучасного стану розробок і їхньої ефективності в галузі сейсмоакустичного прогнозу структури й стану вугленосної товщі, що містить зближені вугільні пласти. Із цією метою розглянуті основні технологічні заходи при вийманні зближених пластів і можливі негативні наслідки їх некоректного відпрацювання. Далі на підставі проведеного аналізу геологічних розрізів показано, що 41 % вугільних пластів Донбасу промислового значення має зближений пласт з дотриманням умов формування хвилеводу складної будови. Найбільше значення (до 60 %) даного показника притаманно Західно-Донбаському регіону. Також встановлено, що до 70 % вугільних пластів Донбасу має складну будову.

Проведений аналіз основних методичних розробок в галузі сейсмоакустичних досліджень вугленосного масиву й застосовуваних при цьому методів математичного моделювання. Розглянуто роботи М. Я. Азарова, А. В. Анциферова, О. О. Глухова, В. Е. Крупіна, В. В. Ржевського,

В. С. Ямщикова, В. К. Полякова, М. Г. Фрейнкмана, Е. С. Ватоліна, А. Д. Рубана, А. А. Яланського й ін. Показано, що, незважаючи на вагомі досягнення у виявленні й прогнозі параметрів тектонічних порушень, залишаються не вивченими питання впливу зближених пластів на використувані підходи інтерпретації результатів сейсмічних експериментів, проведених з метою локалізації, визначення параметрів і класифікації аномальних зон у гірському масиві.

Серед підходів математичного моделювання сейсмоакустичних хвильових полів розглянутий матричний метод, методи спектральних елементів, скінченних різниць, метод Фур'є. Проаналізовано роботи Л. А. Молоткова, А. Л. Льовшина, В. І. Кейліс-Борока, Г. І. Петрашені, Л. С. Метлова, М. Я. Азарова, А. В. Анциферова, О. О. Глухова, Dunkin J., Thomson W., Korn M., Stock H. і ін. Установлено, що існуючі методи математичного моделювання процесу формування сейсмічного сигналу у вугленосній товщі реалізують розв'язання для окремих конкретних умов залягання й лише для певних типів хвиль. Усі методи ґрунтуються на спрощенні вихідних хвильових рівнянь або на застосуванні чисельних методів. Можливе комбінування різних підходів. Часто використовується пружна модель середовища, у рамках якої урахування ряду процесів, що протікають у реальному породному масиві, не можливе. Тому розвиток і ускладнення математичного апарата методів моделювання для урахування більш повного кола параметрів вугленосного масиву залишається актуальною задачею.

Далі проведений аналіз основних закономірностей зміни параметрів реєстрованих хвильових полів від характеристик дрібноамплітудних тектонічних порушень. Показано, що з урахуванням розрізняльної здатності сейсмічних методів і можливості економічно доцільного переходу геологічних порушень без перемонтування механізованих комплексів основним напрямком пошуку буде визначення критеріїв виявлення дрібних (з амплітудою зміщення 3 – 10 м) і дуже дрібних (з амплітудою до 3 м) тектонічних розривних (диз'юнктивних) порушень і зон їхнього впливу.

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

У **другому розділі** розроблені сейсмогеологічні моделі типових гірничо-геологічних умов залягання зближених вугільних пластів з урахуванням розподілу фізичних параметрів середовища в зонах впливу геологічних порушень. Отримані моделі служать інформаційною базою в процесі моделювання.

При розробці фізико-математичної моделі, що описує процеси поширення сейсмоакустичних хвильових пакетів і взаємодії з тектонічними порушеннями, застосовані рівняння О. К. Кондратьєва:

$$\left\{ \begin{array}{l}
 \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + \eta \frac{\partial u}{\partial t} = (2\mu + \lambda) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + (\mu + \lambda) \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial z} + \mu \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \\
 \quad (2\mu' + \lambda') \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} + (\mu' + \lambda') \frac{\partial^3 w}{\partial x \partial z \partial t} + \mu' \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t}; \\
 \rho \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + \eta \frac{\partial w}{\partial t} = (2\mu + \lambda) \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + (\mu + \lambda) \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} + \\
 \quad (2\mu' + \lambda') \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial t} + (\mu' + \lambda') \frac{\partial^3 u}{\partial x \partial z \partial t} + \mu' \frac{\partial^3 w}{\partial z^2 \partial t}; \\
 \rho \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} + \eta \frac{\partial v}{\partial t} = \mu \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + \mu' \frac{\partial^3 v}{\partial x^2 \partial t} + \mu' \frac{\partial^3 v}{\partial z^2 \partial t}.
 \end{array} \right. \quad (1)$$

де ρ – щільність породи; u , v і w – компоненти зсувів по x , y й z відповідно; λ і μ – коефіцієнти Ламе; λ' , μ' – реологічні параметри середовища, які характеризують процеси дисипації пружної енергії; η – коефіцієнт, який враховує в'язкість середовища.

Ці рівняння (названі в роботі О. К. Кондратьєва «оптимальними») можуть бути легко розв'язані чисельними методами. Однак коефіцієнти рівнянь є величинами, які важко визначити на практиці.

Використовуючи скінченно-різницеву схему приведення рівнянь і обмежившись тришаровою моделлю, при розгляді коефіцієнтів зміщень у відповідних вузлах розрахункових ґрат можна показати, що можливе використання ефективних модулів пружності, що обчислюються за допомогою співвідношень:

$$\lambda_{i,j \in \Phi} = \lambda_{i,j} + \frac{\lambda'_{i,j}}{\tau}, \quad \mu_{i,j \in \Phi} = \mu_{i,j} + \frac{\mu'_{i,j}}{\tau}. \quad (2)$$

Цей факт дозволяє уникнути трудомістких і досить приблизних оцінок параметрів λ' , μ' . Інтегральна зміна модулів пружності середовища в зонах впливу аномалій досліджена набагато більше її реологічних властивостей. Для визначення ефективних значень пружних постійних можна використовувати надійно апробовані результати емпіричних досліджень.

Таким чином, запропонований підхід ґрунтується на загальному використанні модифікації методу Кондратьєва й методу ефективних модулів пружності для математичного опису сейсмічних коливань у вуглепородному масиві. Метод дозволяє уникнути трудомістких наближених обчислень реологічних властивостей середовища й використовувати емпіричні оцінки значень модулів пружності в зонах впливу геологічних порушень.

Розглянутий підхід ліг в основу розробленого програмного забезпечення для моделювання й аналізу сейсмічних хвильових полів у вугленосному масиві, що дозволяє досліджувати структуру хвильового поля, кінематичні й динамічні характеристики інформативних хвильових пакетів. При розробленні програмного забезпечення застосовано принципи багатопотокової обробки

даних. Аналіз швидкодії реалізованих алгоритмів показав високу ефективність застосованих принципів і оптимізації обчислень, а порівняння розрахункових сейсмограм з реально спостережуваними на практиці свідчить про достовірність одержуваних результатів.

У **третьому розділі** наведені результати дослідження впливу зближеного вугільного пласта на інформативні характеристики сейсмічних хвильових полів.

При розробці критеріїв прогнозу амплітуди порушення типу скид показано, що найбільшу інформацію несуть характеристики бічних хвиль зсуву (рис. 1), для яких характерно різке зменшення амплітуди при амплітуді порушення більше половини потужності хвилеводу.

З урахуванням різної потужності й характеристик порід, що залягають нижче або вище хвилеводу складної будови, залежно від положення джерела з боку лежачого або висячого крила, падіння амплітуди бічних хвиль зсуву може відрізнятись на 10 – 20 %.

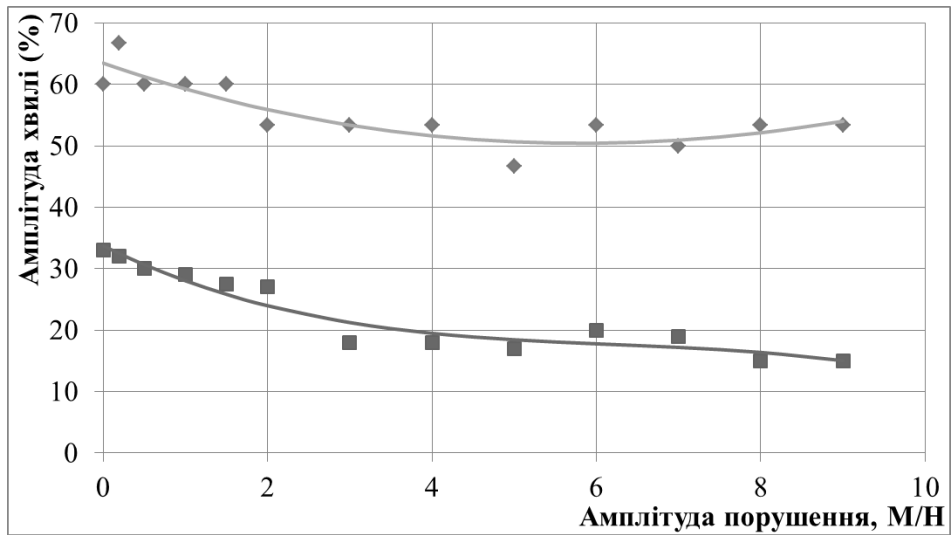
Така закономірність викликана тим, що основна коливальна енергія «каналюється» хвилеводом складної будови, утвореним зближеними вугільними пластами й пластом породи між ними. Нижчележачі або вищележачі пласти породи разом з вугільними пластами також можуть утворювати вторинні хвилеводи складної будови. Поступове збільшення амплітуди порушення призводить до того, що частина хвильових пакетів, зазнаючи змін в зоні дроблення, переходить із другорядних хвилеводів у вугільний пласт і прилеглі породи, і, інтерферуючи з іншими хвильовими пакетами, продовжує поширюватися по хвилеводу складної будови.

Таким чином, з урахуванням геологорозвідувальних даних теоретично можливо визначити не тільки амплітуду порушення, але й напрямок зсуву уздовж порушення.

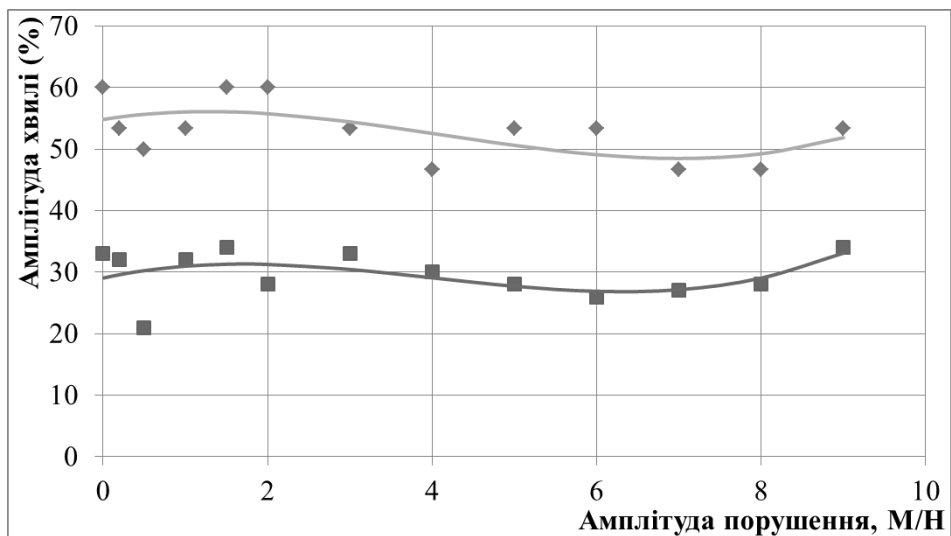
Основна спостережувана зміна в частотних спектрах інформативних хвильових пакетів – поява низькочастотного піка із частотою 30 – 50 Гц, відсутнього в узагальненому спектрі сигналу для моделі без аномалії.

Аналіз впливу ширини зони тріщинуватості на амплітуду прохідного сигналу показує, що падіння амплітуди бічних хвиль усіх типів для порушення типу скид в середньому не перевищує 3 – 5 % на кожні 5 метрів шляху по аномалії (рис. 2). Для каналової хвилі, утвореної хвилеводом складної будови, ця величина може досягати 10 – 15 %. Найбільше падіння амплітуди відзначається при проходженні початкової ділянки зони тріщинуватості (від 5 до 10 м).

Корисну інформацію дає аналіз усереднених частотних спектрів при змінненні ширини зони тріщинуватості (рис. 3). Порівняння частотних спектрів показує, що у високочастотній частині відбувається зсув локальних максимумів на 10 – 20 Гц у бік низьких частот. Для низькочастотної частини ця величина менша й не перевищує 5 Гц. Коливання із частотою до 50 Гц долають порушення практично без зміни амплітуди. Особливо добре це помітно для діапазону частот від 25 до 50 Гц.



а)



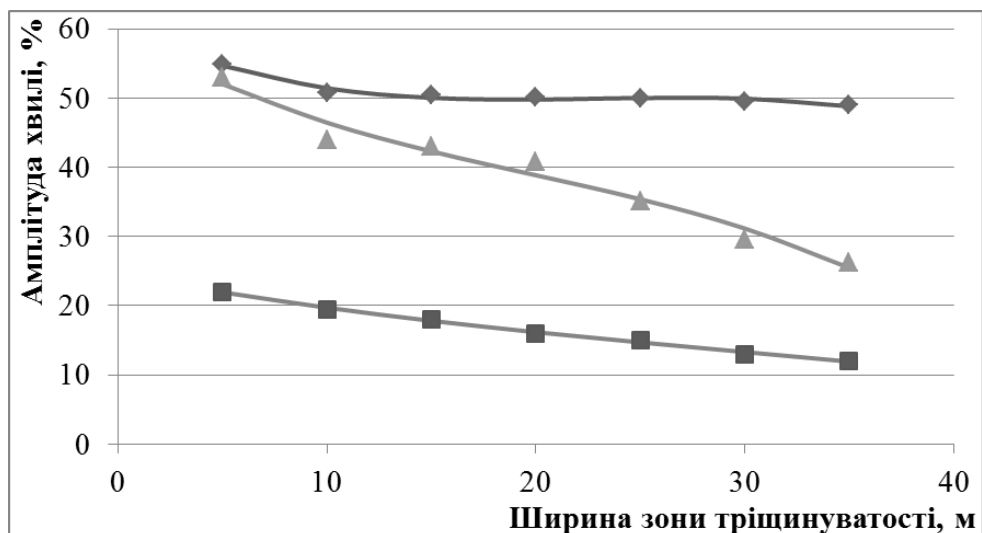
б)

Тип хвильових пакетів:

- ◆ – бічні хвилі стиску
- – бічні хвилі зсуву

Рис. 1. Залежність амплітуд хвильових пакетів бічних хвиль стиску й зсуву від амплітуди порушення для моделі, що містить хвилевід складної структури: а – джерело сигналу розташовано з боку висячого крила; б – джерело сигналу розташовано з боку лежачого крила

При проходженні сейсмічних коливань через порушення типу скид, у силу симетрії змін пружних характеристик середовища в зоні аномалії, не було різниці, з якого боку надходить сигнал. При проходженні сейсмічних коливань через асиметричне в акустичному плані порушення типу насув такий фактор має істотне значення.



Тип хвильових пакетів:

- ◆ – бічні хвилі стиску
- – бічні хвилі зсуву
- ▲ – каналові хвилі

Рис. 2. Залежність амплітуд хвильових пакетів різної природи від ширини зони впливу тектонічного порушення типу скид

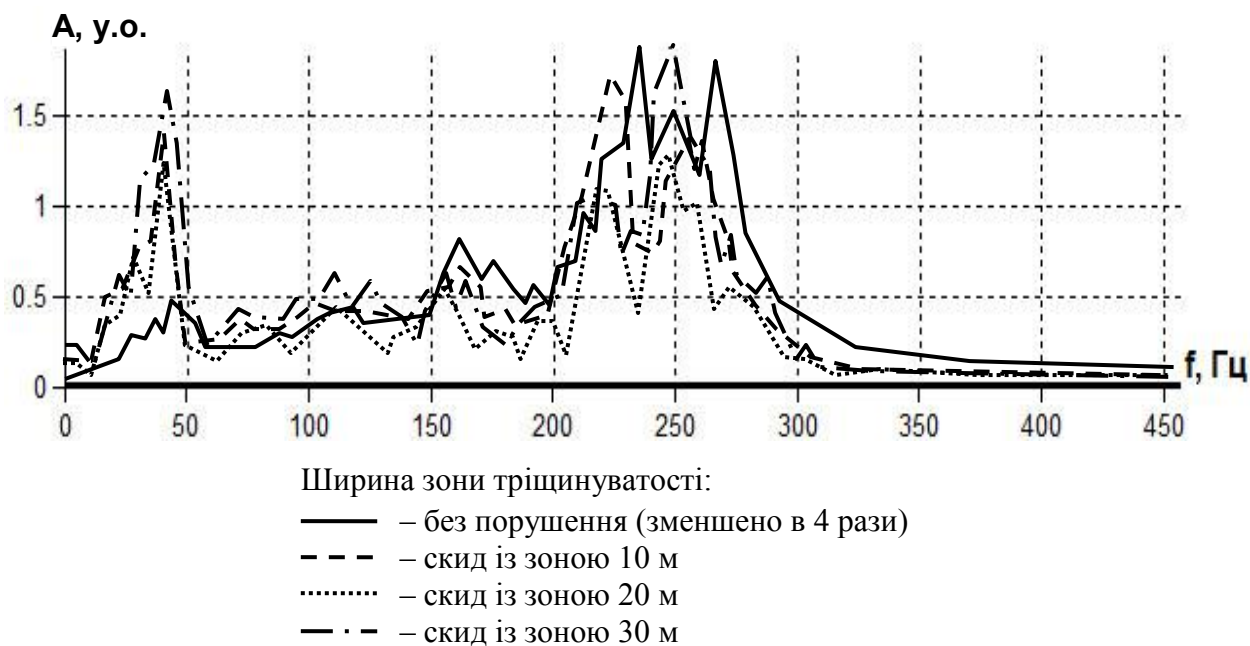


Рис. 3. Зміння амплітудно-частотного спектра зі збільшенням ширини зони тріщинуватості для порушення типу скид

Як показали результати моделювання для насуву, крім зміни амплітудних характеристик, міняється структура сигналу. Це проявляється в подовженні хвильових пакетів будь-якої природи при збільшенні міри зміни параметрів і, іноді, у поділі пакетів різної природи. Кількісно аспект подовження пакетів важко описати, оскільки він суттєво залежить від параметрів вугілля, порід і характеру їхньої зміни в зоні порушення. Поділ пакетів різної природи

відбувається за рахунок різної міри вповільнення хвильових пакетів у зоні тріщинуватості.

Амплітуда бічних хвиль стиску залежить від щільності й швидкісних характеристик середовища в зоні аномалії більшою мірою, ніж амплітуда бічних хвиль зсуву й каналових хвиль. Збільшення щільності й швидкісних характеристик вміщувальних порід на 10 % (вугілля на 20 % відповідно) викликає збільшення амплітуди бічних хвиль стиску на 7–9 %. Для бічних хвиль зсуву ця величина не перевищує 5 %.

При проходженні сейсмічних коливань через асиметричне в акустичному плані порушення типу насув коливання, які поширюються з боку висячого крила, зустрічають зону тріщинуватості порід і вугілля з набагато більш різкою акустичною границею (за рахунок високої акустичної твердості порід у зоні впливу порушення). Коливання, що поширюються з боку лежачого крила, зустрічають зону зниженої акустичної твердості. Але безпосередньо за нею розташовується висяче крило насуву з аномально високою акустичною твердістю, яка також створює надзвичайно різку акустичну границю. Це значною мірою впливає на процеси переломлення й відбиття хвиль у зоні впливу тектонічного порушення. З урахуванням зміни геометричних характеристик нормального залягання вугільних пластів й вміщувальних порід даний процес стає важко описуваним.

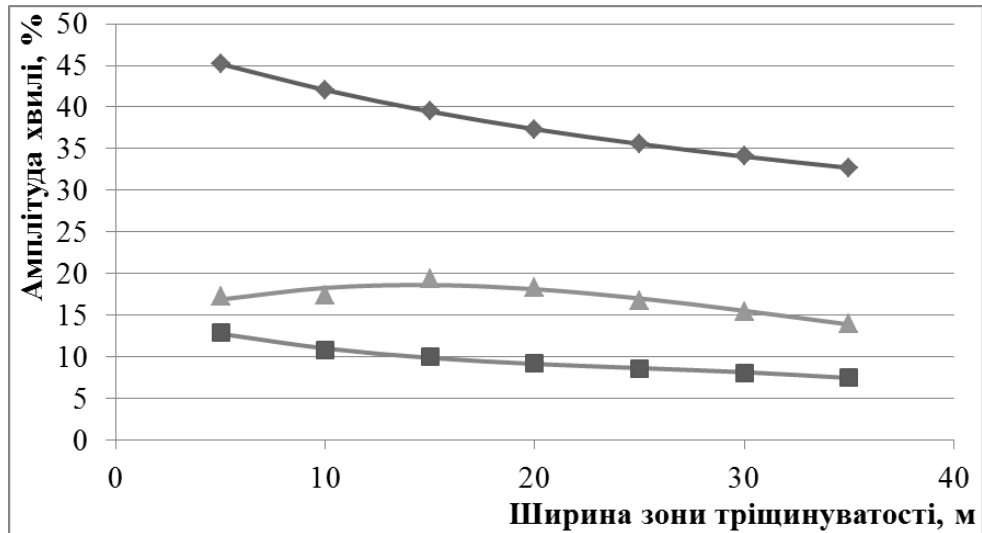
Складний характер залежності більшою мірою проявляється для амплітуди каналової хвилі. Наприклад, до 10 % зміни параметрів середовища амплітуда каналової хвилі практично залишається постійною, незалежно від положення джерела. При змінах більше 15 %, якщо джерело розташоване з боку лежачого крила, відзначається поступове збільшення амплітуди каналової хвилі на 1–3 % на кожні 5 % зменшення щільності й швидкостей вміщувальних порід. Якщо джерело розташоване з боку висячого крила, спостерігається протилежна ситуація зі збереженням залежності. Слід помітити, що при більших амплітудах порушення в більшості випадків виділити каналову хвилю є неможливим.

На рис. 4 наведена залежність амплітуд хвиль від ширини зони впливу насуву для значення зміни щільності й швидкості поширення хвиль у зоні аномалії на 35 % для вугілля й 20 % – для вміщувальних порід. Збільшення ширини зони впливу насуву на кожні 10 м призводить до зменшення амплітуд бічних хвиль зсуву не більше ніж на 5 %. Бічна хвиля стиску при цьому зменшує свою амплітуду не більше ніж на 3 %. Зміна амплітуд каналової хвилі, як і для залежності від міри зміни пружних параметрів середовища, має складний характер.

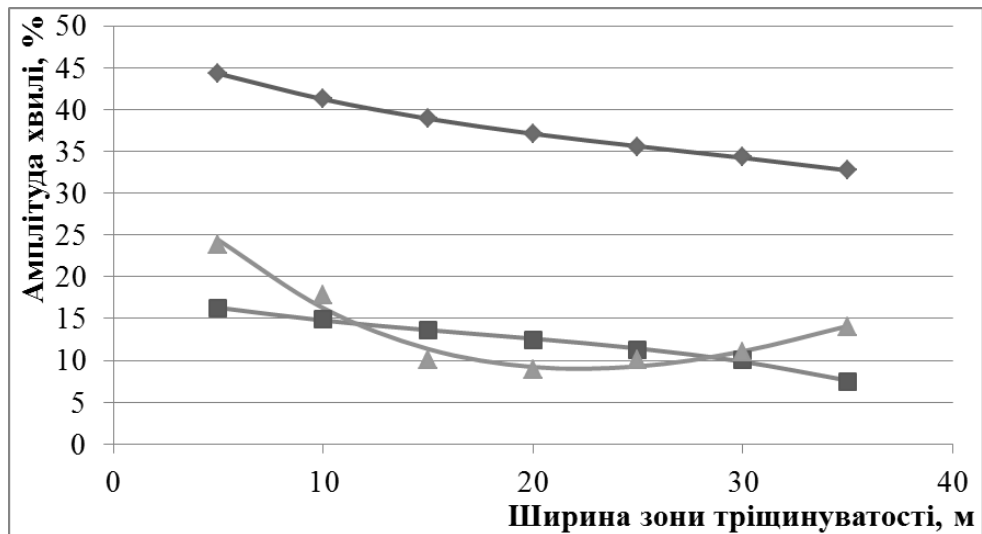
Порівняння характеру залежності прохідних хвиль від характеристик зон впливу тектонічних порушень типу скид й насув для випадку зближених вугільних пластів показує цікаву особливість: для насуву амплітуди хвиль у два й більше разів сильніше залежать від міри зміни характеристик середовища, ніж амплітуди хвиль, які долають скид.

При розгляданні залежності частотних характеристик хвильових пакетів для порушення типу насув незалежно від положення джерела відносно зони

впливу спостерігається істотна зміна спектральної характеристики хвильового поля. Для випадку положення джерела з боку лежачого крила спостерігається зсув локального максимуму низькочастотних коливань (із частотою від 10 до 50 Гц) в область високих частот на 10 Гц. У випадку положення джерела з боку висячого крила тільки при ширині зони впливу скиду більше 20 м простежується розширення спектрів високочастотних (із частотою від 200 до 300 Гц) максимумів в область низьких частот на 10 – 15 Гц.



а)



б)

Тип хвильових пакетів:

◆ – бічні хвилі стиску

■ – бічні хвилі зсуву

▲ – каналові хвилі

Положення джерела:

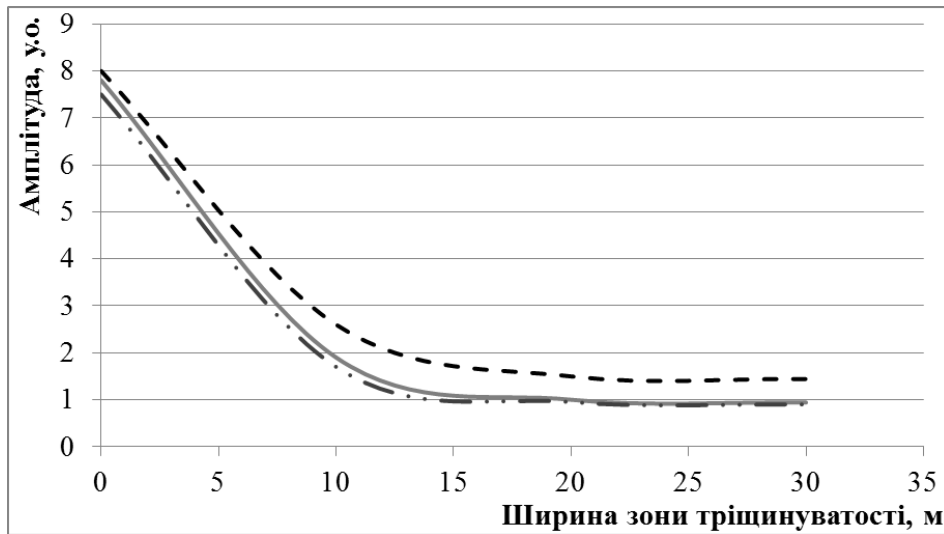
а) з боку лежачого крила

б) з боку висячого крила

Рис. 4. Залежність амплітуд хвильових пакетів різної природи від ширини зони впливу насуву

Результати розрахунків свідчать, що для всіх моделей характерне значне ослаблення коливань із частотою від 100 до 450 Гц (рис. 5). Незалежно від типу

порушення зона тріщинуватості виконує роль фільтра низьких частот. Причому найбільше ослаблення високочастотної складової сигналу спостерігається при зміні ширини зони тріщинуватості від 1 до 10 м.



Тип порушення:

--- - швид

— - насув: джерело з боку лежачого крила

... - насув: джерело з боку висячого крила

Рис. 5. Залежність амплітуд високочастотних хвильових пакетів різної природи від ширини зони впливу тектонічного порушення

У **четвертому розділі** викладений метод використання сейсмічних параметрів породного масиву, що дозволяє оцінити технологічні параметри дрібноамплітудних тектонічних порушень шляхом аналізу структури, амплітудних, частотних і швидкісних характеристик поля сейсмоакустичних коливань, що проходить через аномалію.

Ідея методу полягає в адекватному відображенні фізико-математичним моделюванням сейсмоакустичних процесів у вугленосному масиві при виборі раціональних рішень щодо відпрацювання зближених вугільних пластів.

Узагальнена схема методу (рис. 6) з урахуванням інтеграції в нього методів математичного моделювання включає п'ять етапів:

– аналіз апріорної геологічної, геофізичної й іншої інформації про вугільний пласт у зоні спостереження, про підсічені гірничими роботами порушення по пласту, над і під ним;

– розробка сейсмологічної моделі вугленосної товщі;

– вибір схеми спостережень і умов експерименту;

– виконання натурних експериментів на ділянці шахтного поля;

– обробка й наступна інтерпретація результатів натурних досліджень.

Метод адаптований до умов Донбасу й на відміну від існуючих при інтерпретації результатів сейсмічних експериментів урахує зміни інформативних характеристик реєстрованих хвильових пакетів, що вносяться

зближеним вугільним пластом, на підставі запропонованих критеріїв прогнозу порушень.

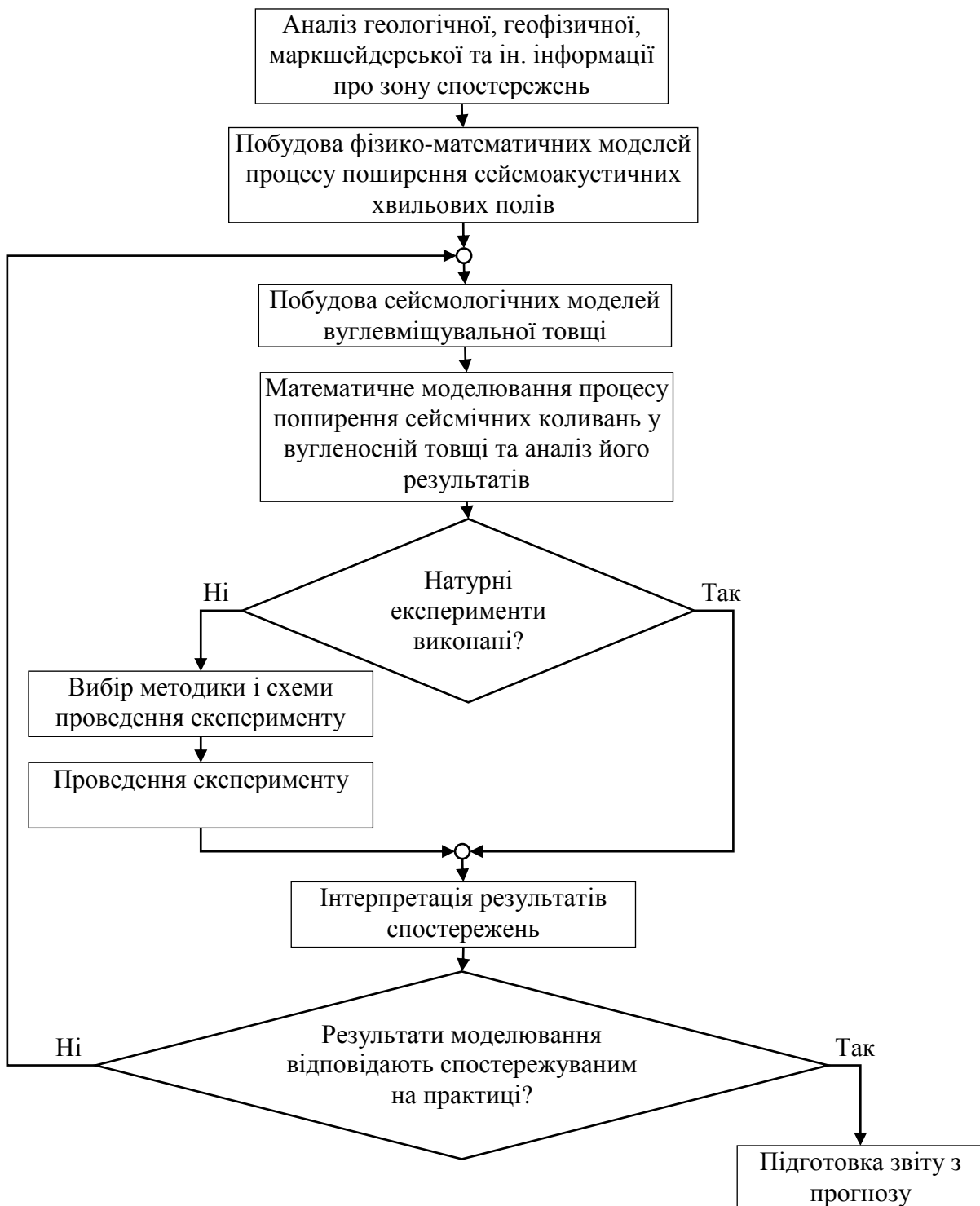


Рис. 6. Узагальнена схема інтеграції методів математичного моделювання в технологічні процеси проведення сейсмічних спостережень

У **п'ятому розділі** наведені найбільш характерні приклади прогнозу параметрів дрібноамплітудних тектонічних порушень зближених вугільних пластів Донбасу для вибору оптимальних шляхів ведення гірничих робіт. Розглянуто різні схеми формування хвилеводу складної будови зближеними

вугільними пластами різного марочного складу, що залягають у різних гірничо-геологічних умовах.

Установлено, що розроблена модель процесу формування й поширення сейсмічних коливань у породному масиві дозволяє оцінювати параметри диз'юнктивів і конструктивні елементи технології виймання зближених вугільних пластів з урахуванням стадії епігенезу, неоднорідності, пористості, тріщинуватості вугільних пластів й вміщувальних порід і процесів дисипації коливальної енергії в зоні впливу тектонічних порушень. Застосування розглянутих методів математичного моделювання дозволяє на початковій стадії підготовки сейсмічного експерименту визначити робочі діапазони частот і швидкостей реєстрованих сигналів і надалі вибрати оптимальну конфігурацію й параметри системи спостереження.

Розглянуті приклади охоплюють низку випадків обробки сейсмоакустичних даних, отриманих в умовах хвилеводу складної будови, утвореного зближеними вугільними пластами. В усіх експериментах найбільшу інформацію про параметри аномальної зони несуть каналові хвилі із частотою 50 – 550 Гц і швидкістю в діапазоні між швидкостями поширення хвиль зсуву у вугіллі й породному прошарку, а також бічні хвилі стиску й бічні хвилі зсуву із частотним діапазоном від 50 до 250 Гц і швидкістю поширення, рівної швидкості хвиль відповідних типів у вміщувальних породах. Швидкісні й частотні параметри хвильових пакетів повністю відповідають результатам проведених досліджень в 3-му розділі методами математичного моделювання.

Розроблені критерії виявлення, визначення структури й параметрів диз'юнктивних тектонічних порушень зближених вугільних пластів сейсмоакустичним методом на основі аналізу структури сигналу, зміни швидкісних, частотних і амплітудних характеристик хвильових пакетів з урахуванням стадії епігенезу й будови вугленосного масиву можуть бути використані з надійністю не менш ніж 80 %. Заснований на методах математичного моделювання підхід, завдяки додатковій інформації про технологічні параметри порушення, дозволяє підвищити якість інтерпретації сейсмоакустичної інформації.

Основний корисний ефект застосування розробленого методу досягається за рахунок виключення витрат на буріння розвідницьких свердловин, вироблення раціональних шляхів відпрацювання вугільних пластів, виключення витрат на ремонт механізованого комплексу у випадку зміни програми проведення очисних робіт на ділянках пласта в результаті раптової зустрічі тектонічних порушень. І, в першу чергу, завчасний прогноз підвищує безпеку ведення гірничих робіт.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій на основі вперше встановлених закономірностей впливу зближеного вугільного пласта на інформативні характеристики сейсмічних хвильових полів з урахуванням гірничо-геологічних умов залягання, будови й фізико-механічних характеристик вугільних пластів, вирішене актуальне науково-технічне

завдання з визначення критеріїв та підвищення надійності сейсмоакустичного прогнозу структури й параметрів дрібноамплітудних диз'юнктивних порушень, що має велике значення при підземній розробці зближених вугільних пластів Донбасу.

Основні наукові й практичні результати роботи полягають в наступному.

1. Розроблена фізико-математична модель, заснована на загальному використанні модифікації методу Кондратьєва й методу ефективних модулів пружності, для математичного опису сейсмічних коливань у породному масиві при прогнозі геологічних порушень вугільних пластів, що вперше дозволяє враховувати в'язкі й реологічні властивості середовища з адекватністю відображення параметрів дрібноамплітудних диз'юнктивних порушень не менш ніж 80 %.

2. Уперше встановлено, що для масиву зі зближеними вугільними пластами, віддаленими не більше ніж на 4 – 5 м, основну інформацію про параметри тектонічного порушення несуть амплітудні характеристики бічних хвиль зсуву із частотами від 50 до 400 Гц, а також зміни частотних параметрів хвиль усіх типів.

3. Уперше для масиву зі зближеними вугільними пластами теоретично обґрунтована можливість на додаток до амплітуди порушення визначати напрямок зсуву уздовж порушення. Найбільшу інформацію несуть амплітудні характеристики бічних хвиль зсуву. Так, зсув в один з боків може давати до 10 – 20 % різниці в порівнянні із протилежним варіантом за інших рівних умов.

4. Удосконалені критерії виявлення й оцінювання сейсмоакустичним методом диз'юнктивних тектонічних порушень породного масиву, що враховують вплив зближеного вугільного пласта на параметри реєстрованого сигналу й ґрунтуються на аналізі структури сигналу, зміні швидкісних, частотних і амплітудних характеристик прохідних хвильових пакетів.

5. На підставі розроблених критеріїв прогнозу дрібноамплітудних диз'юнктивних порушень породного масиву зі зближеними вугільними пластами, а також наукових положень і висновків дисертаційної роботи розроблені методичні рекомендації проведення й обробки результатів сейсмічних експериментів в умовах залягання вугільних пластів Донбасу.

6. Розроблене програмне забезпечення «Система моделювання й аналізу процесів, що протікають у породному масиві при проведенні прогнозу сейсмічним методом гірничо-геологічних умов залягання вугільних пластів» (посвідчення про реєстрацію авторського права № 32549), у якому застосовано методи багатопотокової обробки даних, на підставі чого з урахуванням сучасного апаратного забезпечення отримано трикратне прискорення розрахунків з можливістю одночасного оброблення декількох моделей.

7. Достовірність основних висновків і результатів дисертації підтверджена їхнім успішним впровадженням у ПАТ «Шахтоуправління» Покровське» і ДП «ДВЕК» ВП «Шахта Моспинська» при прогнозуванні будови, фізико-механічних властивостей і стану вуглепородного масиву. Результати роботи були використані в рамках чотирьох науково-дослідних робіт, а також апробовані на п'ятих міжнародних конференціях.

Основні положення й результати дисертації опубліковані в таких роботах:

1. Трофимов В.В. Модифицированный метод математического моделирования процесса распространения колебаний в углевмещающей толще / Анциферов А.В., Глухов А.А., Педченко М.А., Трофимов В.В. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2008. – № 3. – С. 153-160.

2. Трофимов В.В. Исследование сейсмоакустических волновых полей в условиях залегания углей Западного Донбасса / Глухов А.А., Трофимов В.В. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2009. – № 4. – С. 103-111.

3. Трофимов В.В. Прогноз геологических неоднородностей углепородного массива методами шахтной пластовой сейсморазведки / Компанец А.И., Глухов А.А., Трофимов В.В., Педченко М.А., Анциферов В.А. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2010. – № 6. – С. 301-312.

4. Трофимов В.В. Особенности взаимодействия сейсмических волновых полей с утонениями и размывами / Анциферов А.В., Глухов А.А., Педченко М.А., Трофимов В.В. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2011. – № 9, частина II. – С. 187-194.

5. Трофимов В.В. Оценка возможности описания тектонических нарушений угольных пластов сейсмическим методом / Анциферов А.В., Глухов А.А., Трофимов В.В., Педченко М.А. // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – Донецьк: УкрНДМІ НАН України, 2012. – № 10. – С. 309-326.

6. Трофимов В.В. Аппаратно-программный комплекс сейсмической томографии горного массива для своевременного выявления аномальных по напряженному состоянию зон при механизированной выемке угля / Канин В.А., Глухов А.А., Омельченко А.А., Алехин Г.Н., Трофимов В.В., Шварцман Г.М., Федосова Н.С. // Наука та інновації. – К.: Видавничий дім «Академперіодика», 2012. – Т. 8., № 6. – С. 40-52.

7. Трофимов В.В. Авторське свідоцтво на комп'ютерну програму «Система моделювання і аналізу волнових процесів, протікаючих в горному масиві при проведенні прогнозу сейсмоакустичним методом горно-геологічних умов залегання угольних пластів» // Анциферов А.В., Глухов А.А., Трофимов В.В. – заявка від 28.01.2010, № 32687; реєстр. 26.03.2010, № 32549.

8. Trofymov V. Optimization of mathematical simulation methods in prediction of geologic faults by acoustic technique / Pedchenko M., Glukhov A., Trofymov V., Komissarov N. // 7-th European Coal Conference, Lviv, Ukraine, August 26-29, 2008. – Lviv: Institute of geology and geochemistry of combustible minerals, 2008. – P. 88-90.

9. Трофимов В.В. Опыт использования геоинформационных систем при решении задач шахтной сейсморазведки [Електронний ресурс] / Глухов А.А., Анциферов А.В., Трофимов В.В. // Geoinformatics 2010: IXth International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, 11-14 May 2010.

– Kiev, 2010. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM): кольор.; 12 см. – Систем. вимоги: Pentium-266; 32 Mb RAM; CD-ROM; Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з титул. Екрану. – А085.

10. Trofymov V. Geoinformation system “GEO-MARK” in seismic predictions of rock mass structure / Antsyferov A., Glukhov A., Trofymov V., Pedchenko M., Antsyferov V. // GeoDarmstadt2010: Geosciences Secure the Future, Octobre 10-13, 2010. – Darmstadt, 2010. – № 68. – p. 67-68.

11. Трофимов В.В. Математическое моделирование при сейсмическом прогнозе состояния горного массива [Электронный ресурс] / Глухов А.А., Анциферов А.В., Трофимов В.В. // Geoinformatics 2011: Xth International Conference on Geoinformatics - Theoretical and Applied Aspects, 10-13 May 2011. – Kiev, 2011. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM): кольор.; 12 см. – Систем. вимоги: Pentium-266; 32 Mb RAM; CD-ROM; Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з титул. Екрану. – А010.

12. Трофимов В.В. Прогноз структуры угленосного массива по результатам использования 2D-3D – сейсморазведки [Электронный ресурс] / Глухов А.А., Компанец А.И., Анциферов А.В., Трофимов В.В. // 3-я Международная научно-практическая конференция «Современные методы сейсморазведки при поисках месторождений нефти и газа в условиях сложнопостроенных структур (Сейсмо-2012)», Украина, АР Крым, г. Феодосия, 16-22 сентября 2012 года. – К.: УкрГГРИ, 2012. – 1 електрон. опт. диск (CD-ROM): кольор.; 12 см. – Систем. вимоги: Pentium-266; 32 Mb RAM; CD-ROM; Windows 98/2000/NT/XP. – Назва з титул. екрану.

Особистий внесок автора в роботах, написаних у співавторстві: розробка фізико-математичної моделі процесу поширення сейсмічних коливань у вугленосному масиві [1, 7, 12]; дослідження параметрів каналових хвиль, утворених хвилеводом складної будови в умовах інверсії пружних властивостей вугілля й вміщувальних порід [2]; визначення робочих діапазонів частот і швидкостей реєстрованих сигналів з метою вибору оптимальної конфігурації й параметрів системи спостереження [3]; формулювання задач і вибір методів розв'язання [4]; розробка критеріїв прогнозу структури й параметрів порушень вугленосного масиву зі зближеними вугільними пластами як хвилеводами складної будови [5, 11, 12]; розробка алгоритмів і програмних модулів розрахунків хвильових полів із застосуванням багатопотокових принципів обробки даних [6-10].

АНОТАЦІЯ

Трофимов В. В. Обґрунтування критеріїв сейсмічного прогнозу структури порушень вуглепородного масиву в умовах зближених пластів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.15.09 – «Геотехнічна й гірничча механіка». Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, 2013.

Дисертація присвячена розв'язанню важливої науково-прикладної задачі вдосконалення методу сейсмічного прогнозу структури дрібноамплітудних порушень на основі встановлення нових закономірностей поширення, переломлення й розсіювання каналових хвиль у складних хвилеводах, утворених зближеними вугільними пластами.

Розроблена фізико-математична модель, в основу якої покладено спільне використання модифікації методу Кондратьєва й методу ефективних модулів пружності, використана для встановлення закономірностей впливу зближеного вугільного пласта на інформативні характеристики сейсмічних хвильових полів з урахуванням характерних для Донбасу гірничо-геологічних умов залягання, будови й фізико-механічних характеристик вугільних відпрацьовуваних пластів. Визначені найбільш інформативні хвильові пакети і їхні характеристики, що несуть інформацію про будову й параметри породного масиву зі зближеними вугільними пластами як хвилеводами складної будови. Уперше теоретично показаний спосіб визначення для масиву зі зближеними вугільними пластами напрямку зсуву уздовж порушення.

Розроблена методика оцінювання типу й параметрів тектонічних порушень зближених вугільних пластів і програмне забезпечення для моделювання й аналізу хвильових полів. Основні результати використані на виїмкових ділянках 4 шахт Донбасу.

Ключові слова: розривні тектонічні порушення, шахтна сейсморозвідка, зближені вугільні пласти.

АННОТАЦІЯ

Трофимов В. В. Обоснование критериев сейсмического прогноза структуры нарушений угленосного массива в условиях сближенных 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, 2013.

Диссертация посвящена решению важной научно-прикладной задачи усовершенствования метода сейсмического прогноза структуры малоамплитудных нарушений на основе установления новых закономерностей распространения, преломления и рассеяния каналовых волн в сложных волноводах, образованных сближенными угольными пластами.

Разработана физико-математическая модель, основанная на общем использовании модификации метода Кондратьева и метода эффективных модулей упругости, для математического описания сейсмических колебаний в угленосном массиве с учетом его реологических свойств и пространственного распределения характеристик. Модель легла в основу внедренного в практику сейсмоакустического прогноза программного обеспечения для моделирования и анализа сейсмических волновых полей в угленосном массиве, позволяющего исследовать структуру волнового поля, кинематические и динамические характеристики информативных волновых пакетов, выполнять обработку

сейсмограмм. При разработке программного обеспечения применены методы оптимизации вычислений и многопоточной обработки данных, показавшие высокую эффективность.

Проведен анализ процессов, обуславливающих наблюдаемые сложные зависимости амплитудно-частотных характеристик регистрируемого сигнала в условиях сближенных угольных пластов как волноводов сложного строения. Установлены закономерности влияния сближенного угольного пласта на информативные характеристики сейсмических волновых полей, используемых для выработки рациональных технологий отработки, с учетом характерных для Донбасса горно-геологических условий залегания, строения и физико-механических характеристик обрабатываемых угольных пластов. Определены наиболее информативные волновые пакеты и их характеристики, несущие информацию о строении и параметрах горного массива со сближенными угольными пластами как волноводами сложного строения. Впервые теоретически показан способ определения для массива со сближенными угольными пластами направления смещения вдоль сместителя.

Опираясь на результаты теоретических исследований, а также на опыт использования шахтной сейсморазведки в условиях Донбасса, разработана методика оценки типа и параметров тектонических нарушений сближенных угольных пластов. Она адаптирована к условиям Донбасса и, в отличие от существующих при интерпретации результатов сейсмических экспериментов, учитывает изменения информативных характеристик регистрируемых волновых пакетов, вносимых сближенным угольным пластом, на основании предложенных критериев прогноза нарушений. Результаты работы использованы на выемочных участках 4 шахт Донбасса.

Ключевые слова: разрывные тектонические нарушения, шахтная сейсморазведка, сближенные угольные пласты.

ABSTRACT

Trofymov V. V. Substantiation of seismic prediction criteria for coal-rock mass fault structure in conditions of contiguous seams. Manuscript copyright.

Ph.D. thesis in Engineering Science in the subject 05.15.09 – Geotechnical and Mining Mechanical Engineering. State higher education institution National Mining University, Dnepropetrovsk, 2013.

The thesis is devoted to solving the important research-applied problem of refining on a low-amplitude fault structure seismic prediction method. The objective is finding out new regularities of channel wave propagation, reflection and dispersion in complex waveguides formed by contiguous seams.

Based on the developed physico-mathematical model, which is basically a joint use of Kondratiev modification method and modulus of rupture method, regularities of the impact of contiguous coal seam on information-bearing attributes of seismic wave fields are identified taking into account typical for the Donets Coal Basin mining and geological mode of occurrence, structure and stress-strain properties of coal seams being worked. The most information-bearing wavetrains and their attributes are determined. These attributes contain information on structure and

parameters of rock mass with contiguous seams as waveguides. First in theoretical terms the method to determine ground movement direction along the fault in contiguous seams is described.

A method to evaluate types and parameters of faults in contiguous seams is worked out and software is developed for wavefield simulation and analysis. The basic results are employed in the working areas of the four coal mines in the Donets Coal Basin.

Key words: faults, seismic exploration in mines, contiguous coal seams.