

Канд. техн. наук В. В. Мерщій,  
канд. геол. – мінерал. наук Б. І. Лелик,  
канд. геол. – мінерал. наук В. Г. Колісниченко  
(ЗАТ «Концерн НАДРА»)

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ШАХТНИХ ВИРОБОК НА РЕЗУЛЬТАТИ СЕЙСМОРОЗВІДУВАЛЬНИХ РОБІТ**

В статті на основі повно-хвильового сейсмічного моделювання проведено аналіз впливу «сухих» та обводнених гірничих виробок на результати сейсмічних досліджень на прикладі однієї з шахт Донбасу. Для моделювання та обробки синтетичних даних використано пакет Tesserat 2-D. Сделано висновок про суттєвий вплив шахтних виробок на часові розрізи та мігровані зображення.

## **RESEARCH OF INFLUENCE OF MINE EXCAVATION ON RESULTS OF SEISMIC WORKS**

In article on the basis of full-wave seismic modelling the analysis of influence «dry» and watered mines on results of seismic prospecting on an example of one Donbass mine is performed. For modelling and processing of synthetic data a package Tesserat 2-D was used. The conclusion is drawn on essential appearance of mines on seismic sections and the migrated images.

Останнім часом суттєво розширились об'єми сейсморозвідувальних робіт 2D/3D з метою пошуків та розвідки покладів газу та вугільного метану на шахтних полях Донбасу. Окрім питання про безпеку гірничих виробок при вібраційному або вибуховому збудженні пружних коливань на денній поверхні, при виконанні сейсморозвідувальних робіт актуальною постає проблема впливу шахт на спостережене хвильове поле та його інтерпретацію.

В даній роботі на основі повно-хвильового сейсмічного моделювання проведений аналіз впливу «сухих» та обводнених гірничих виробок на результати сейсмічних досліджень. Для моделювання та обробки синтетичних сейсмограм використовувався пакет Tesserat 2-D (Calgary, Canada).

### **Методика повно-хвильового моделювання**

Для дослідження впливу шахтних виробок на результати сейсморозвідувальних робіт було використано повно-хвильове сейсмічне моделювання, яке широко застосовується при плануванні систем сейсмічних спостережень в складних сейсмогеологічних умовах, зокрема, для дослідження будови соляного діяпіру при пошуках покладів нафти і газу у приштокових зонах [1], для моделювання сейсмічних хвиль, відбитих від субвертикальних границь [2] та ін. Моделювання виконувалося за допомогою пакету Tesserat 2-D, який функціонує на потужному персональному комп'ютері або кластері і дозволяє генерувати синтетичні сейсмограми або часові розрізи на основі рішення скалярного, акустичного або пружного хвильового рівняння. Для пружної та акустичної апроксимації використовуються диференційні хвильові рівняння у вигляді [3]:

*Пружне хвильове рівняння*

$$(1a) \quad \frac{\partial g^x}{\partial t} = Q \frac{\partial f^x}{\partial x} + L \frac{\partial f^y}{\partial y};$$

$$(2a) \quad \frac{\partial g^y}{\partial t} = Q \frac{\partial f^y}{\partial y} + L \frac{\partial f^x}{\partial x};$$

$$(3a) \quad \frac{\partial g^s}{\partial t} = Q^s \left( \frac{\partial f^x}{\partial y} + \frac{\partial f^y}{\partial x} \right);$$

$$(4a) \quad \frac{\partial f^x}{\partial t} = P \left( \frac{\partial g^y}{\partial x} + \frac{\partial g^s}{\partial y} \right);$$

$$(5a) \quad \frac{\partial f^y}{\partial t} = P \left( \frac{\partial g^s}{\partial x} + \frac{\partial g^x}{\partial y} \right);$$

*Акустичне хвильове рівняння*

$$(1б) \quad \frac{\partial g^x}{\partial t} = Q \frac{\partial f^x}{\partial x} + L \frac{\partial f^y}{\partial y};$$

$$(2б) \quad \frac{\partial g^y}{\partial t} = Q \frac{\partial f^y}{\partial y} + L \frac{\partial f^x}{\partial x};$$

$$(3б) \quad \frac{\partial f^x}{\partial t} = P \frac{\partial g}{\partial x};$$

$$(4б) \quad \frac{\partial f^y}{\partial t} = P \frac{\partial g}{\partial y};$$

де  $f^x, f^y$  – миттєва швидкість коливань часток середовища;  $g^x, g^y$  – нормальний тиск для поздовжньої хвилі;  $g^s$  – тиск для поперечної хвилі;  $Q = \lambda + 2\mu = \rho \alpha^2$ ;  $Q^s = \mu = \rho \beta^2$ ;  $L = \lambda = Q - 2Q^s$ ;  $P = \frac{1}{\rho}$ ;  $\rho$  – густина;  $\alpha$  – швидкість поздовжньої хвилі;  $\beta$  – швидкість поперечної хвилі;  $\lambda$  та  $\mu$  – константи Ламе.

Розглянуті хвильові рівняння (1a – 5a) та (1б – 4б) описують безперервний процес, який може бути змодельований у числовій формі за допомогою кінцево-різницевого методу. В цьому випадку середовище описується сіткою, у вузлах якої розміщуються акустичні або пружні параметри середовища. На сітці знаходяться два типи параметрів: статичні (постійні в часі) – густина, швидкості розповсюдження поздовжніх та поперечних хвиль, а також динамічні (змінні в процесі обчислень) – миттєві рухи, тиски та ін. Обчислення виконуються шляхом числового диференціювання між точками сітки [4]. Процес розповсюдження хвильового поля в середовищі можна спостерігати на екрані монітора у вигляді анімації миттєвих знімків.

### **Створення глибинно-швидкісної моделі**

При складанні верхньої частини моделі відбиваючі границі знімались зі скан-образу вертикального розрізу по свердловині № НН-5746 Північно-Родинській Красноармійського полігону, який використовувався як фоновий малюнок у глибинному масштабі. Нижня частина моделі (від глибини 670 м до вибою свердловини) побудована на основі даних акустичного каротажу цієї ж свердловини.

Границі на моделі задавались послідовно зверху вниз шляхом їх трасування у вигляді багатокутників (полігонів) за допомогою маніпулятора миші. Для кожного з побудованих полігонів, що відповідають геологічним верствам, задавались акустичні параметри гірських порід та вугільних пластів – швидкості розповсюдження поздовжніх та поперечних хвиль, а також густина. З даних акустичного каротажу полігони та їх фізичні властивості створюються автоматично.

Для побудованої таким чином тонкошаруватої моделі генерувались синтетичні сейсмограми за допомогою пружної апроксимації хвильового рівняння, яка максимально відповідає реальному процесу розповсюдження сейсмічних коливань в геологічному середовищі. Для спрощення вирішення поставленої задачі глибинно-швидкісна модель була побудована у вигляді набору горизонтальних або субгоризонтальних верств в кількості 171.

На рис. 1 показана глибинно-швидкісна модель, побудована на основі розглянутої методики. Крива акустичного каротажу зображена в лівій частині розрізу. Стовбур шахти «Краснолиманська» знаходиться на координаті 3000 м.

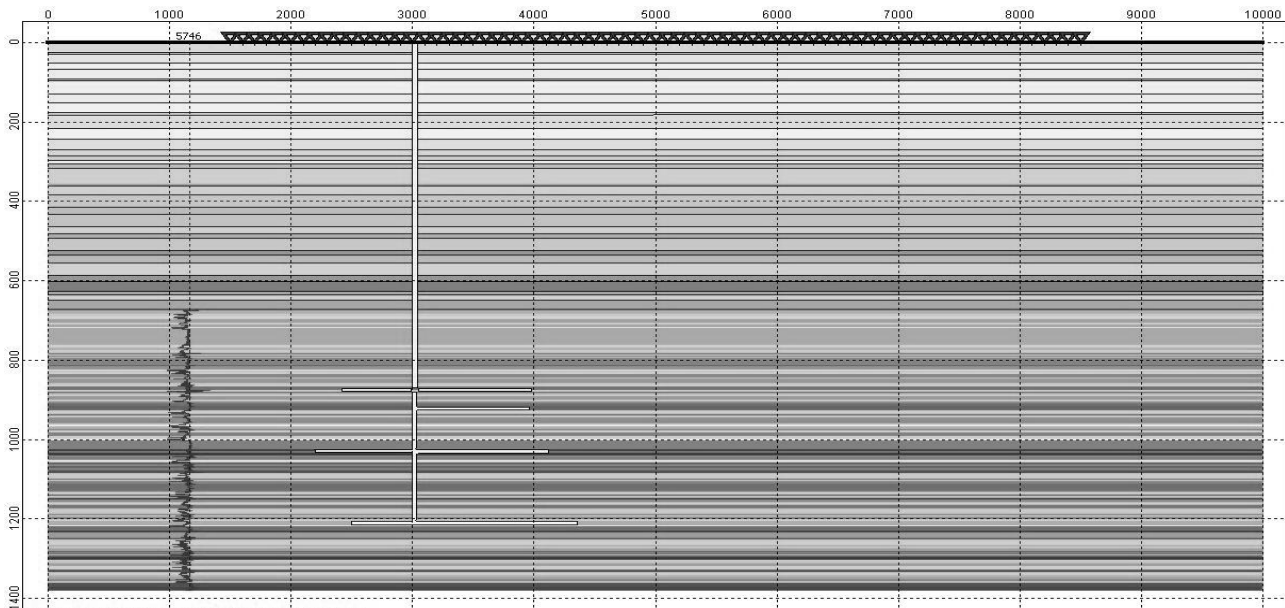


Рис. 1 – Тонкошарувата модель геологічного розрізу з шахтою

### Параметри системи спостережень

Для моделювання був заданий тип розстановки сейсмоприймачів, аналогічний поздовжньому профілю системи спостережень 3D, яка зазвичай застосовується при польових роботах у сейсмічних експедиціях ЗАТ «Концерн Надра» в умовах складнопобудованих структур Донбасу [6]. В результаті експериментів (тестування кроку геофонів та пунктів збудження, зміна переважаючої частоти спектру та форми сигналу, вибір типу хвильового рівняння та ін.) для моделювання синтетичних сейсмограм були вибрані такі параметри системи сейсмічних спостережень: розстановка геофонів центральна (симетрична); кількість каналів в розстановці – 121; відстань між геофонами – 25 м; відстань між пунктами збудження – 50 м; кратність – 30; крок дискретності – 1 мс; довжина запису – 2,5 с; максимум частоти спектру сигналу – 45 Гц.

### Мета моделювання

На основі даних акустичного каротажу по свердловині, пробуреній на шахтному полі, провести моделювання впливу «хвильової картини» шахтних виробіток на інтерпретацію сейсмічних даних для умов діючої (активної) та за-

критої (затопленої) вугільної шахти, а також визначити потенційні зони акумуляції покладів метану у вугленосній товщі, придатних для його видобутку.

### Результати моделювання

З наявного досвіду та теоретичних міркувань [5], до початку моделювання можна було передбачити, що при наявності вертикального стовбура шахти та субгоризонтальних гірничих виробок після генерування синтетичних сейсмограм та відповідної обробки одержаної інформації на модельному часовому розрізі СГТ будуть спостерігатися інтенсивні дифраговані хвилі, які утворюються від місць з'єднання виробок зі стволом шахти, а також кінців виробок. Крім того, джерелами дифрагованих хвиль повинні бути точки перетину відбиваючих горизонтів стовбуром шахти. В результаті наступної пост-стек міграції часового розрізу СГТ або пре-стек міграції сейсмограм можна буде виділити сліди сфокусованих дифрагованих хвиль у вигляді динамічних змін форми сигналу на сейсмічних зображеннях. Активні гірничі виробки повинні виділятися на зображенні як аномалія різкого зменшення швидкості розповсюдження пружних коливань (швидкість у повітрі  $\approx 330$  м/с, щільність  $1,29$  кг/м<sup>3</sup>), а обводнені виробки мають дещо менший контраст з вміщуючими породами (швидкість  $\approx 1500$  м/с, щільність  $1000$  кг/м<sup>3</sup>). В обох випадках аномалії хвильового поля можуть бути викликані також нерозповсюдженням у повітрі та воді поперечних хвиль (при використанні пружної апроксимації хвильового рівняння).

На рис. 2 та рис. 3 показані результати моделювання для діючої та затопленої шахт відповідно.

Як і очікувалось, шахта на часовому розрізі та мігрованому зображенні виділяється у вигляді різкого зменшення амплітуд сейсмічних сигналів завширшки декілька трас як для «сухої» (рис. 2), так і для затопленої (рис. 3) шахти. Відбиття від гірничих виробок утворюють стовп завширшки з найбільш протяжною з них, причому між виробками утворюються інтенсивні кратні хвилі, які практично «забивають» усе хвильове поле в межах зони виробок, інтерферуючи з відбиттями від границь розділу геологічних верств. Від кінців верхньої виробки утворюються дифраговані хвилі, а для більш глибоких виробок вони маскуються кратними та частково-кратними хвилями.

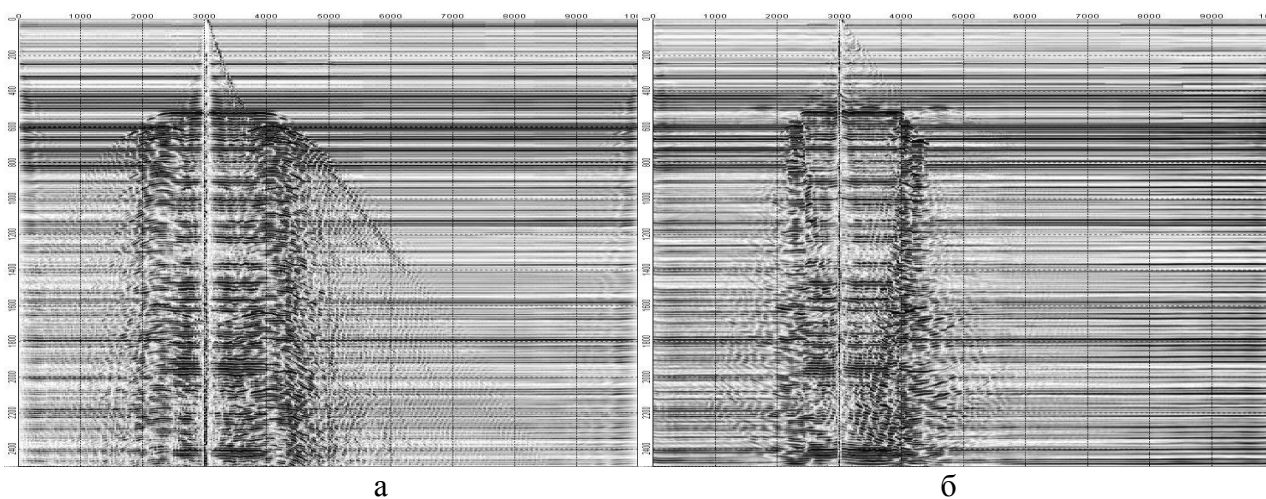


Рис. 2 – Часовий (а) та мігрований (б) розрізи для діючої шахти

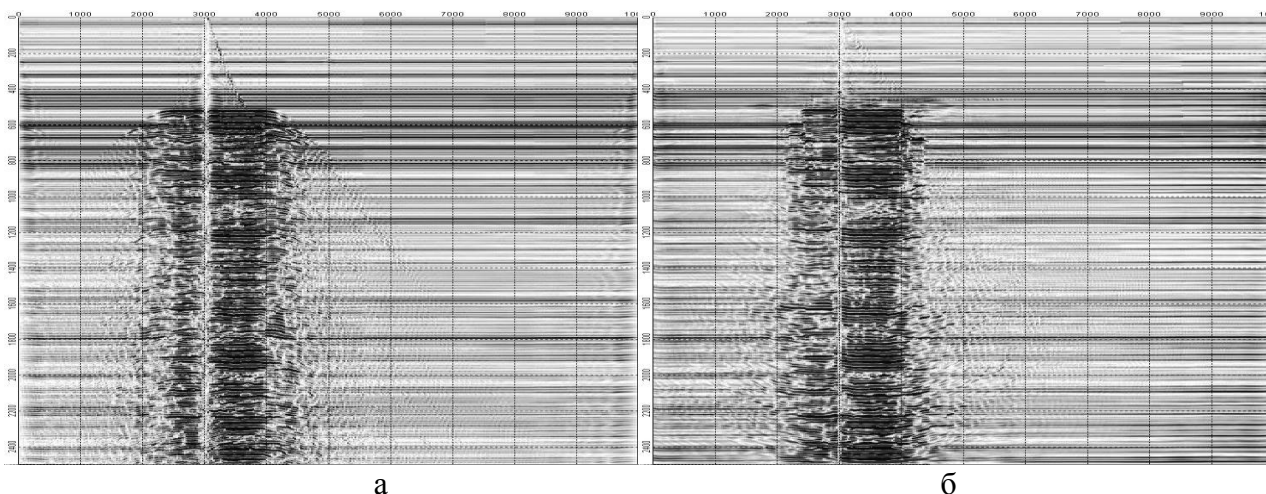


Рис. 3 – Часовий (а) та мігрований (б) розрізи для затопленої шахти

На основі сейсмічних даних можна однозначно виділити лише верхню виробку, якщо виробки знаходяться вертикально одна під одною. Очевидно, при наявності лише одного поверху видобутку вугілля кратні та частково-кратні хвилі між поверхами виробок будуть відсутні.

Можна також відмітити значно більші амплітуди відбиттів в зоні гірничих виробок (приблизно у два рази) у випадку затопленої шахти (рис. 3) у порівнянні з діючою шахтою (рис. 2). Це пояснюється більшим поглинанням сейсмічного сигналу повітрям, що знаходиться в діючій шахті, у порівнянні з водою.

Крім цього, аналіз розрізів, зображених на рис. 2 та рис. 3, та прогноз локалізації газових покладів показує, що характер їх розподілу для різного стану шахт (діюча, закрита) буде різним. Так, для діючої шахти (рис. 2), газ у активній частині вуглевидобутку (зона розвитку гірничих виробіток) буде рівномірно розподілений у вугленосній товщі з локалізацією підвищеної газонасності у пластах вугілля та пісковиків, а також у зонах тріщинуватості та максимального розкриття тріщин унаслідок гравітаційного розвантаження та куполах зрушення. У плані ці зони переважно співпадають із напрямками гірничих виробіток, відпрацьованими пластами. Для закритої (затопленої) шахти (рис. 3) поклади газу будуть локалізуватись вище ГВК, над зоною закритих гірничих робіт. Важливим буде наявність каналів (тріщин) для газопритягів із зони відпрацьованої та розвантаженої зони шахти. Наявність покладів газу та його обсяги будуть залежати, головним чином, від екрануючої покришки та її цілісності.

Після завершення моделювання для діючої та закритої шахт з моделі була видалена шахта, і моделювання виконано повторно. Відповідні часовий та мігрований розрізи показані на рис. 4.

Як можна бачити з наведених розрізів, для моделі без шахти хвильове поле має спокійний характер і ускладнене лише малоамплітудними порушеннями.

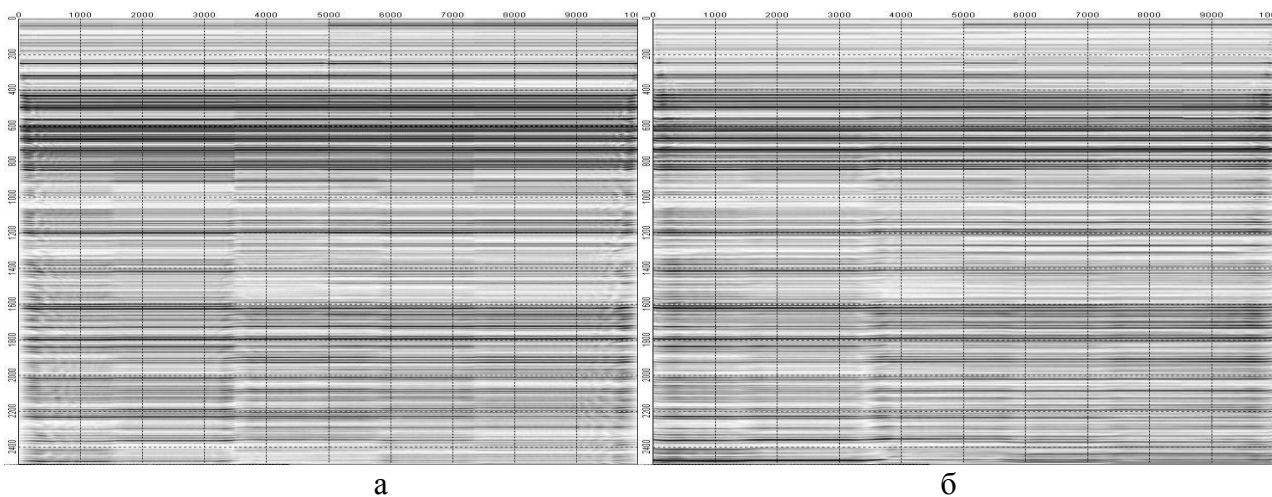


Рис. 4 – Часовий (а) та мігрований (б) розрізи для моделі без шахти

### Висновки

В результаті аналізу одержаних результатів можна зробити висновок про суттєвий вплив шахти на одержане в результаті сейморозвідувальних робіт хвильове поле як на часових, так і на мігрованих розрізах. Вплив шахти на деяких ділянках розрізу такий великий, що вони практично не піддаються інтерпретації. У зв'язку з цим рекомендується по можливості уникати ділянки шахтних полів при проведенні сейморозвідувальних робіт. З іншого боку, стовпоподібні аномалії на сейсмічних розрізах мають бути діагностичною ознакою наявності шахти.

Крім цього, аналіз виконаного моделювання та прогноз локалізації покладів газу вказують на їх різний характер для умов діючої та закритої шахти. Так, для діючої шахти основний газовий потенціал буде приурочений до зони ведення гірничих робіт та їх впливу на породний масив, а для затопленої шахти можливі скупчення газу над зоною ведення робіт, вище ГВК за наявності щільної породої покришки.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Мерщій В. В. Применение полно-волнового сейсмического моделирования для исследования эффектов, вызванных боковыми частями соляного диапира / В. В. Мерщій, А. С. Костюкевич, Г. Д. Лесной // Геофизический журнал, 2002. – т. 24, №5. – С. 56 – 61.
2. Моделирование с помощью конечно-разностного метода отраженных от субвертикальных границ дуплексных волн / А. С. Костюкевич, Н. Я. Мармалевский, З. В. Горняк [и др.] // Геофизический журнал, 2001. – т. 23, №3. – С. 110 – 114.
3. Mershchiy V. Full-Wave modelling of effects caused by the flanks of salt dome / V. Mershchiy, A. Kostyukovich, G. Lisny. – EAGE 64<sup>th</sup> Conference, 27 – 30 May 2002, Florence. – P. 262.
4. Virieux J. P-SV-wave propagation in heterogeneous media: velocity-stress finite-difference method / J. Virieux. – Geophysics, 1986. – v. 51, №4. – P. 889 – 901.
5. Тимошин Ю. В. Сейсмическая голография сложнопостроенных сред / Ю. В. Тимошин, С. А. Бирдус, В. В. Мерщій. – М. : Недра, 1989. – 255 с.
6. Лісний Г. Д. Методика проведення детальної сейморозвідки для виявлення покладів метану / Г. Д. Лісний, В. В. Мерщій, О. О. Коваленко // Геолог України, 2009. – №3. – С. 149 – 155.