

## ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ

Одержані пружні постійні пісковиків Волино-Подільського регіону, які свідчать про те, що пружна симетрія ромбічна. Досліджені параметри анізотропії порід-колекторів за результатами ультразвукових вимірювань швидкостей пружних хвиль. Пропонується метод вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль для здійснення неруйнівного контролю структури зцементованих пісковиків.

**Ключові слова:** пружні постійні; акустичний тензор; стереопроєкції швидкостей пружних хвиль.

**Вступ.** У роботі запропонована автоматизована система чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових (УЗ) вимірювань параметрів анізотропії фазових швидкостей пружних квазі-поздовжньої  $V_{\parallel}$ , "повільної"  $V_{\perp 2}$  і "швидкої"  $V_{\perp 1}$  квазіпоперечних хвиль порід-колекторів. Анізотропія швидкостей  $V$  пружних хвиль гірських порід розглядається як один із найбільш інформативних параметрів геодинамічних процесів, що відбувається в надрах Землі [Вижева, 2004]. При дослідженнях порід-колекторів необхідно розрізнявати вплив неоднорідності складу і будови текстур гірських порід та їх упорядкованості, яка має недосконалий і статистичний характер [Продайвода та ін., 2011]. Розповсюдження УЗ пружних хвиль  $V_{\parallel}$ ,  $V_{\perp 2}$  і  $V_{\perp 1}$  в гірських породах супроводжується розсіюванням і поглинанням  $\alpha(f)$ , яке залежить від частоти  $f$  і спричиняє спотворення акустичних імпульсів внаслідок скінченної ширини їх спектру та ускладнює вимірювання фазових швидкостей пружних хвиль  $V_{\parallel}$ ,  $V_{\perp 2}$  і  $V_{\perp 1}$  [Лукиєнко, 2008; Кузнецов и др., 2001].

**Задачі досліджень.** Використання чутливого методу використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль  $V$  дає змогу встановити основні риси розвитку тріщиноутворення в умовах напружено-деформованого стану гірських порід. Тому задачею цього дослідження є показ ефективності застосування методу використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль  $V$  з точки зору встановлення основних генетичних типів тріщинуватості, динаміки їх утворення.

**Методика досліджень.** Із штуфів керна на каменерізному станку були виготовлені зразки у вигляді куборомбододекаедрів, розміром  $L \approx 30 \times 30 \times 30$  мм<sup>3</sup>. Забезпечувалася паралельність відповідних пар граней не гірше  $\pm 0.015$  мм. Орієнтація напрямків вимірів - з точністю  $\alpha = \pm 1,5^\circ$ . Стандартними петрофізичними методами визначалися щільність і ефективна пористість зразків пісковика. Фазові швидкості об'ємних пружних хвиль одержані за допомогою імпульсної установки для ультразвукових вимірювань швидкостей на частоті  $f \approx 1,67$  МГц.

Для експериментального дослідження пружних постійних  $C_{ijkl}$  були відібрані зразки порід-

колекторів із різних структурних зон Волино - Подільського регіону: Володимирівської, Великомоствської, Сокальської і Сушнівської площ. У результаті петрографічних досліджень встановлено їх літологічний склад, структурно-текстурні особливості, тип цементу.

**Результати досліджень та їх обговорення.** Результати вимірів оброблялися за допомогою автоматизованої системи чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль гірських порід. Власні значення акустичного тензору  $\mu_i$  представлені у таблиці 1.

Стереопроєкції параметрів пружної анізотропії були розраховані для порід-колекторів Волино - Подільського регіону і представлені на рис. 1 і 2. Пружна симетрія середовища накладає досить жорсткі обмеження на характер азимутальної залежності параметрів анізотропії пружних хвиль. За власними значеннями акустичного тензору  $\mu_i$  обчислена величина інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії  $A_{\mu}$ , яка змінюється по стволам свердловин в досить широких межах. Так в інтервалі глибин  $H = 2100 \div 3500$  м величина інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії змінюється  $5,04\% < A_{\mu} < 19,48\%$ . Досліджені зразки Волино - Подільського регіону характеризуються середнім та високим значеннями інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії  $5\% < A_{\mu} < 20\%$ . На рис. 1 представлено стереопроєкції різниці поперечних швидкостей  $\Delta V_{\perp}$  (ізолінії в км/с).

На рис. 2 представлено стереопроєкції кута відхилення вектора пружних зміщень  $\vec{U}$  від напрямку хвильової нормалі  $(\vec{U}, \vec{n})$  (ізолінії в градусах).

**Висновки.** Розроблена автоматизована система чисельного аналізу і візуалізації даних УЗ вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль порід-колекторів може використовуватись для експрес-обробки експериментальних значень фазових швидкостей квазіпоздовжніх  $V_{\parallel}$ , "швидкої"  $V_{\perp 1}$  і "повільної"  $V_{\perp 2}$  квазіпоперечних хвиль та щільності  $\rho$  порід-колекторів. Одержані пружні постійні пісковиків Волино - Подільського регіону, які свідчать про те, що пружна симетрія ромбічна, а не поперечно - ізотропна.

Таблиця 1

Власні значення детермінованої складової акустичного тензору  $\mu_{ii}$  і їх довірчі границі при 5% рівні значущості - у чисельнику та їх власні напрямки - у знаменнику зразків гірських порід Волино - Подільського регіону

Номери зразків	$\langle m_{11} \rangle \pm \Delta$ $\frac{(\text{км/с})^2}{l^{(1)}, m^{(1)}, n^{(1)}}$	$\langle m_{22} \rangle \pm \Delta$ $\frac{(\text{км/с})^2}{l^{(2)}, m^{(2)}, n^{(2)}}$	$\langle m_{33} \rangle \pm \Delta$ $\frac{(\text{км/с})^2}{l^{(3)}, m^{(3)}, n^{(3)}}$	Коефіцієнт акустичної анізотропії, $A_{\mu}$ , %	Симетрія акустичного тензору	$L_{\mu}$	$S_{\mu}$
Вл-27	$\frac{31,681 \pm 0,0164}{0,530; 0,842; -0,097}$	$\frac{30,575 \pm 0,0164}{-0,844; 0,535; 0,036}$	$\frac{27,165 \pm 0,0148}{0,082; 0,063; 0,995}$	6,43	планальна mmm	1,036	1,126
Вл-31	$\frac{36,623 \pm 0,3103}{-0,107; -0,147; -0,983}$	$\frac{32,679 \pm 0,3069}{-0,993; 0,062; 0,099}$	$\frac{22,254 \pm 0,3090}{0,046; 0,987; -0,153}$	19,48	планальна mmm	1,121	1,468
Вм-27	$\frac{52,236 \pm 0,0565}{-0,178; 0,984; 0,029}$	$\frac{49,310 \pm 0,0634}{-0,701; -0,106; -0,706}$	$\frac{46,152 \pm 0,0635}{-0,691; -0,146; 0,708}$	5,04	планальна mmm	1,059	1,068
Со-20	$\frac{39,917 \pm 0,0303}{0,946; -0,322; 0,027}$	$\frac{35,331 \pm 0,0311}{0,318; 0,914; -0,253}$	$\frac{34,796 \pm 0,0297}{0,056; 0,248; 0,967}$	6,25	аксіальна mmm	1,130	1,015
Су-18	$\frac{30,469 \pm 0,0682}{0,755; 0,609; 0,245}$	$\frac{28,822 \pm 0,0686}{-0,656; 0,704; 0,271}$	$\frac{24,208 \pm 0,0633}{-0,007; -0,365; 0,931}$	9,48	планальна mmm	1,057	1,191
Су-19	$\frac{31,428 \pm 0,1038}{0,729; 0,684; 0,020}$	$\frac{28,739 \pm 0,1042}{-0,681; 0,723; 0,121}$	$\frac{25,583 \pm 0,0919}{0,068; -0,102; 0,992}$	8,33	планальна mmm	1,094	1,123

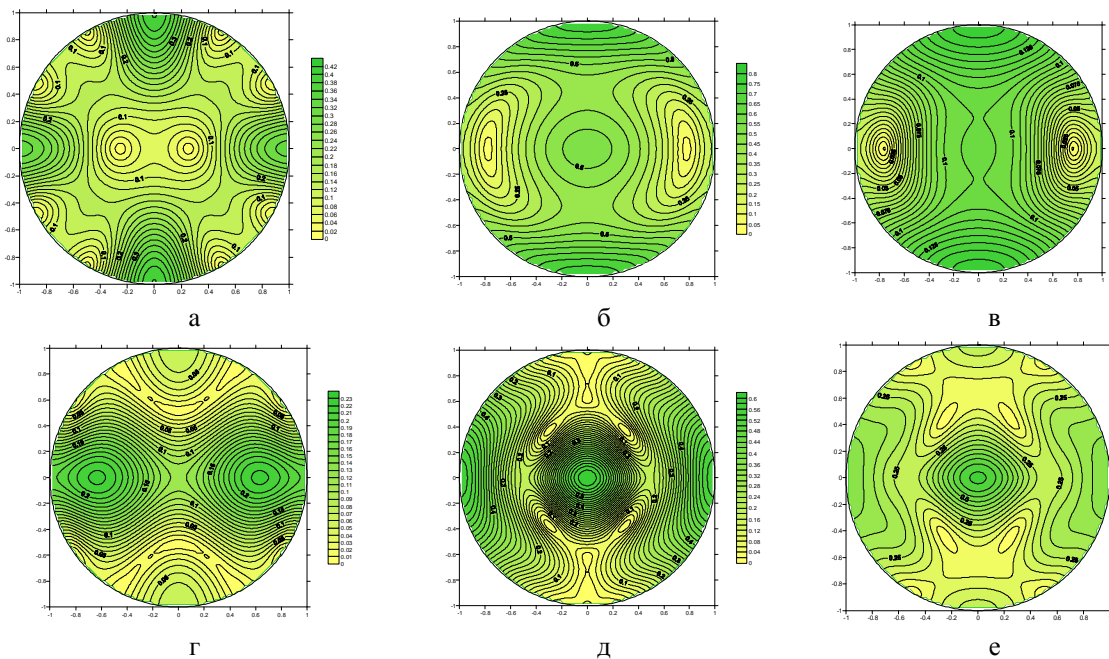


Рис. 1. Стереопроєкції різниці поперечних швидкостей  $\Delta V_{\perp}$  (ізолінії в км/с): а) Вл-27; б) Вл-31; в) Вм-27; г) Со-20; д) Су-18; е) Су-19

З огляду на велику інформаційну насиченість методу використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль  $V$ , що показано на прикладі генезису порід-колекторів, є доцільним і виправданим використання цього методу для здійснення неруйнівного контролю структури зцементованих осадових дрібно-зернистих пісковиків із гранулярною пористістю з точки зору розвитку теорії деформації порід-колекторів, утворення і розповсюдження тріщин, відновлення полів механічних напружень  $\sigma_i$ . До

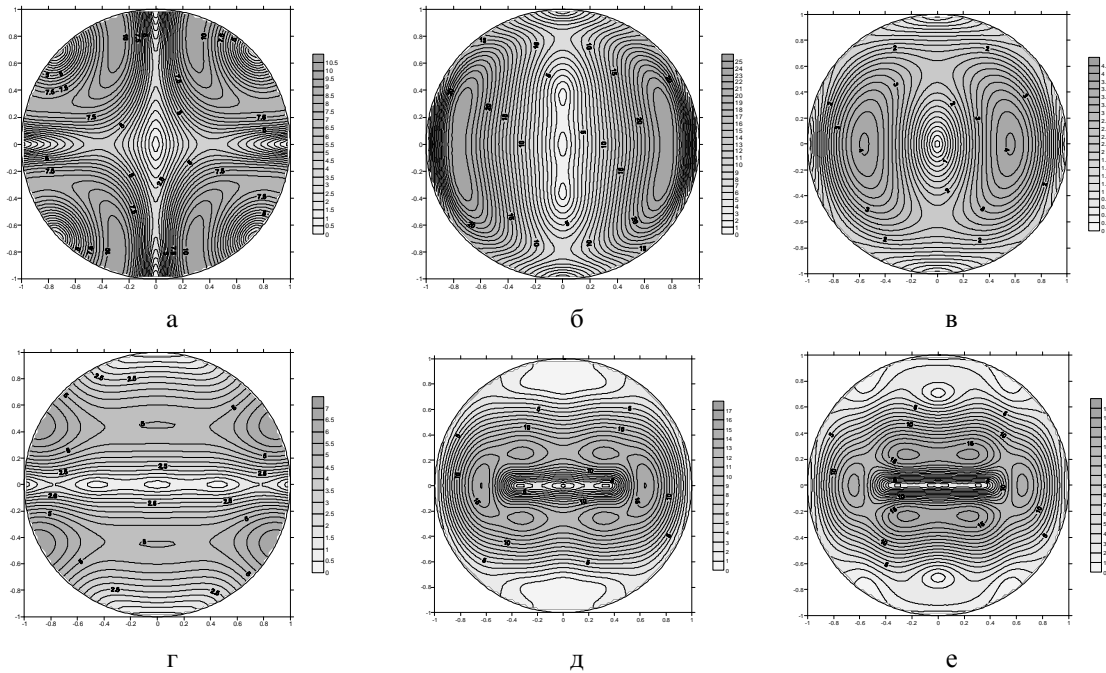
суттєвих переваг геологічного застосування методу використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль  $V$  необхідно віднести наступне: встановлення інтегральних змін напружено-деформаційного стану  $\sigma - \epsilon$ , які відображаються через структурно-текстурні особливості зразків порід-колекторів, їх флюїдонасиченість, ієрархічну структуру тріщиноутворення, а також виразну кореляцію амплітуд швидкостей пружних хвиль  $V_{\parallel}$ ,  $V_{\perp 2}$  і  $V_{\perp 1}$  з рівнями тектонофацій.

## Література

Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – К.: Обрії, 2004. – 236 с.  
 Продайвода Г.Т., Вижва С.А., Безродна І.М., Продайвода Т.Г. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу. – К.: ВПЦ "КУ", 2011. – 367 с.

Лукієнко О.І. Структурна геологія. – К.: КНТ, 2008. – 350 с.

Кузнецов О.Л., Симкин О.Л., Чилингар Дж. Физические основы вибрационного и акустического воздействий на нефтегазовые пласты. М.: Мир, 2001. – 260 с.



**Рис. 2.** Стереопроєкції кута відхилення вектору пружних зміщень  $\vec{U}$  від напрямку хвильової нормалі ( $\vec{U}, \vec{n}$ ) (ізолінії в градусах): а) ВЛ-27; б) ВЛ-31; в) ВМ-27; г) Со-20; д) Су-18; е) Су-19.

## УПРУГИЕ СВОЙСТВА ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ

Г.Т. Продайвода, С.А. Вижва, Ю.А. Онанко, А.П. Онанко

Оценены упругие постоянные песчаников Волинь - Подольского района, которые свидетельствуют, что упругая симметрия ромбическая. Исследованы параметры анизотропии пород-коллекторов по результатам ультразвуковых измерений скоростей упругих волн. Предлагается метод измерений параметров анизотропии скоростей упругих волн для неразрушающего контроля структуры цементированных песчаников.

**Ключевые слова:** упругие постоянные; акустический тензор; стереопроєкции скоростей упругих волн.

## ELASTIC PROPERTIES OF ROCK-COLLECTORS

G. Prodayvoda, S. Vyzhva, Y. Onanko, A. Onanko

The elastic constants are appraised sandstones of Volino – Podolskiy region, which testify that elastic symmetry is orthorhombic. The anisotropy parameters of rock-collectors are explored from the ultrasonic results measurements of elastic wave velocities. The method of measurements of anisotropy parameters of elastic wave velocities is offered for non-destructive control of structure of sandstones.

**Key words:** elastic constants; acoustic tensor; stereoprojection of elastic waves velocities.