

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА МАТЕМАТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ АКУСТИЧНИХ ТА ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГІРСЬКИХ ПОРІД ЗА ДАНИМИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ВИМІРЮВАНЬ

Запропонована автоматизована система чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних квазіповздовжньої, "швидкої" і "повільної" квазіпоперечних хвиль гірських порід. Досліджено ефекти параметрів анізотропії порід-колекторів за результатами ультразвукових вимірювань для складних напружено-деформаційних умов. Вставлено ромбічний тип акустичної анізотропії, що пов'язаний з текстурними особливостями, речовинним складом та складноупорядкованою мікротріщинуватістю порід.

Ключові слова: автоматизована система; акустична анізотропія; швидкості пружних хвиль; мікротріщини.

Вступ. Чисельний аналіз, математичне моделювання і експериментальні дослідження параметрів анізотропії ультразвукових (УЗ) швидкостей пружних хвиль, характеристик акустичного тензору μ_{ij} дозволяють встановлювати особливості напружено-деформованого стану гірських порід [Александров, Продайвода, 2000]. Інтенсивний динамотермальний метаморфізм, що накладався на породи, призводив до структурно-механічного перетворення їх при різних рівнях тисків P та температур T в анізотропних полях напружень σ . Ці перетворення мали свій відбиток у структурно-текстурних особливостях порід. Планальна структура означає, що породи в момент свого утворення перебували в умовах квазівсесічного літостатичного тиску; аксіальна структура свідчить про наявність директивних напружень σ .

Комплексний підхід до аналізу результатів вимірювання УЗ досліджень на зразках гірських порід, що полягає в оцінці акустичного тензору μ_{ij} при залученні інших геологічних характеристик породи (літологічних, петрологічних) дозволяє вирішити ряд задач, пов'язаних із встановленням характеристик анізотропії пружних властивостей порід [Вишва, 2004].

Район робіт, методи та об'єкти досліджень. Були відібрані зразки порід-колекторів із різних структурних зон Волино-Подільського регіону: Володимирівської, Великомоствівської, Сокальської і Сушнівської площ. У текстурному малюнку досліджуваних порід спостерігався перехід від брекчіювання до часткової мілонітизації та філонітизації. Розмір пор у дрібнозернистих пісковиків складав близько $d \approx 50$ мкм присутні як відкрита так і закрита види пористості.

Фазові швидкості об'ємних пружних хвиль одержані за допомогою імпульсної установки для УЗ вимірювань швидкостей на частоті $f \approx 1,67$ МГц. У випромінювачу і приймачу повздовжніх V_{\parallel} і поперечних V_{\perp} мод коливань пружних хвиль використовувалася п'езокварци відповідної поляризації. Точність визначення фазових швидкостей

повздовжніх та поперечних мод $\Delta V/V \approx 0,5\%$.

Мета і задачі досліджень. Задачею цього дослідження є показ ефективності застосування методу використання вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль V з точки зору встановлення основних типів акустичної анізотропії, зв'язку її з геологічними умовами існування гірських порід.

Результати досліджень. Результати вимірів оброблялися за допомогою автоматизованої системи чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль гірських порід, опис якої наведено нижче. Принципова схема алгоритму роботи цієї системи представлена на рис. 1.

Швидкості пружних хвиль V_{\parallel} , $V_{\perp 1}$ і $V_{\perp 2}$, акустичні константи μ_{ij} і пружні постійні C_{ijkl} пісковиків змінюються в широких межах, що пов'язане із варіаціями їх літологічного складу і складом цементу, наявністю пор і мікротріщин на фоні існування інтенсивної азимутальної анізотропії фазових швидкостей V пружних хвиль різної поляризації. Аналіз пружних констант C_{ijkl} дозволив встановити чисельні значення анізотропії зразків: акустичну лінійність L_{μ} , акустичну сланцюватість S_{μ} , інтегральний коефіцієнт пружної анізотропії A_{μ} , тип симетрії N акустичного тензору μ_{ij} . Зазначені параметри описують в чисельному виді форму акустичного еліпсоїду, а саме акустична лінійність $L_{\mu} = \mu_g/\mu_m$ і акустична сланцюватість $S_{\mu} = \mu_m/\mu_p$, де μ_g , μ_m і μ_p – відповідно найбільше, проміжне і найменше власні значення акустичного тензору μ_{ij} .

Обговорення результатів. Залежність акустичної лінійності L_{μ} від акустичної сланцюватості S_{μ} текстур досліджуваних зразків гірських на рис. 2 показує міру упорядкованості елементів текстури породи вздовж окремих напрямків (лінійна орієнтація, що відповідає акустичній лінійності) або вздовж площин (шаруватість, сланцюватість, що відповідає акустичній сланцюватості).

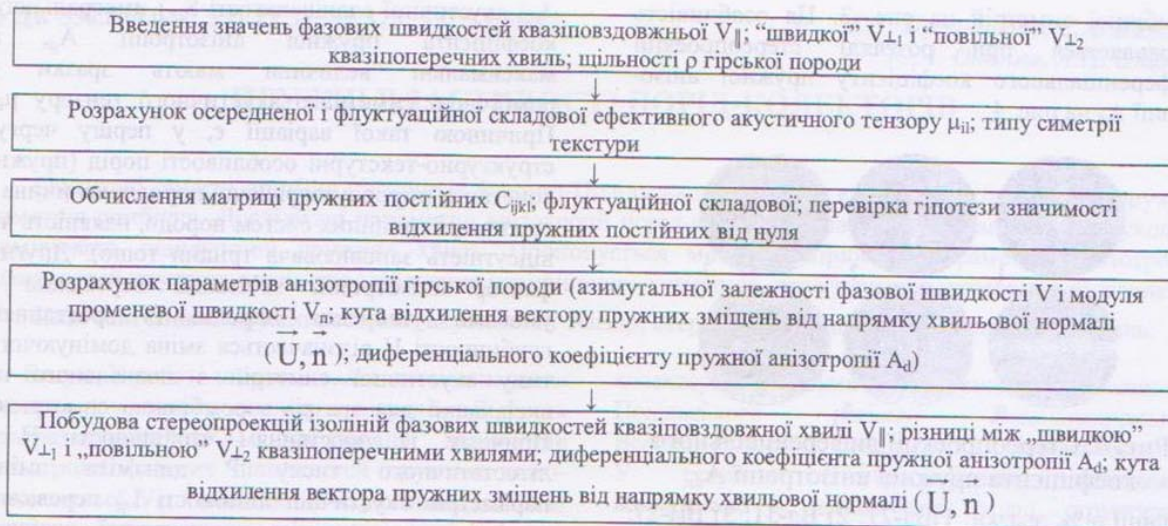


Рис. 1. Принципова схема алгоритму роботи автоматизованої системи чисельного аналізу і візуалізації даних ультразвукових вимірювань параметрів анізотропії швидкостей пружних хвиль гірських порід.

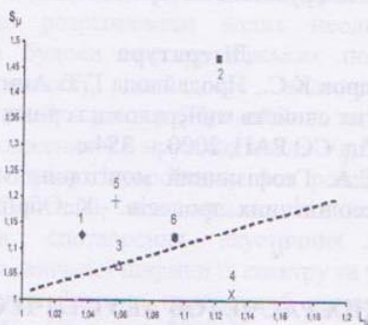


Рис. 2. Діаграми залежності акустичної лінійності L_{μ} від акустичної сланцюватості S_{μ} текстур зразків; суцільна лінія розмежує планальні і аксіальні текстури; зразки: 1) Вл-27; 2) Вл-31; 3) Вм-27; 4) Со-20; 5) Су-18; 6) Су-19

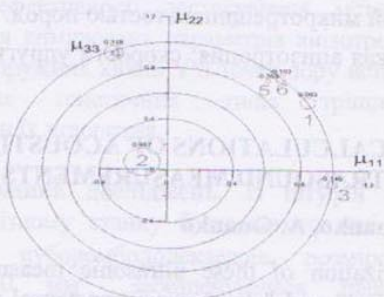


Рис. 3. Полярна діаграма параметрів акустичного тензору μ_{11} , μ_{22} , μ_{33} ; зразки: 1)Вл-27; 2) Вл-31; 3) Вм-27; 4) Со-20; 5) Су-18; 6) Су-19

Результати аналізу параметрів акустичного тензору μ_{ij} показали декілька головних тенденцій. Відстежується квазілінійна залежність між величинами L_{μ} і S_{μ} на рис. 2, що вказує на

спільну причин їх формування, що супроводжується також збільшенням інтегрального коефіцієнту пружної анізотропії A_{μ} . Вплив структурно-текстурних особливостей породи є домінуючим на формування акустичної симетрії (кристалграфічні осі, орієнтація структурних елементів: зерен, мікротріщин). Інтегральний коефіцієнт пружної анізотропії A_{μ} досліджуваних зразків змінюється в широких межах: $6,25\% < A_{\mu} < 19,48\%$ і складає, у середньому $A_{\mu} \approx 9,99\%$.

Вплив глибинності $H(P)$ (літостатичного тиску P) на A_{μ} неоднозначний - на малих глибинах H проявляється лінійна залежність $A_{\mu} = kH$ від глибини. Із збільшення глибини H відзначається помітне зниженням A_{μ} . Помічено, що з глибиною H відбувається зростання впливу планальної компонента симетрії акустичного тензору μ_{ij} і зменшення аксіальної.

Найбільш виражені типи акустичної симетрії проявлені в пісковиках, і напроти, для зразку вапняку властиве найменш виражений тип симетрії і найнижча величина інтегрального коефіцієнту анізотропії A_{μ} . До того ж у нього виявлені найбільш високі значення фазових швидкостей $V_{||}$ і поперечних V_{\perp} і пружних постійних C_{ijkl} . Всі зразки (окрім пісковика із Сокальської площі, Со-20) володіють планальним типом симетрії акустичного тензору μ_{ij} ; зразок із аксіальною симетрією акустичного тензору (Со-20) має один із найнижчих величин коефіцієнту інтегральної пружної анізотропії A_{μ} . Не відзначається суттєвих статистично значимих відмінностей латерального розподілу A_{μ} зразків на рис.3.

Результати аналізу симетрії акустичного тензору μ_{ij} показують, що досліджувані текстури порід-колекторів по співвідношенню власних значень акустичного тензора можна віднести до

ромбічної симетрії на рис. 3. Ця особливість проявляється при розгляді стереопроєкції диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d на рис. 4.

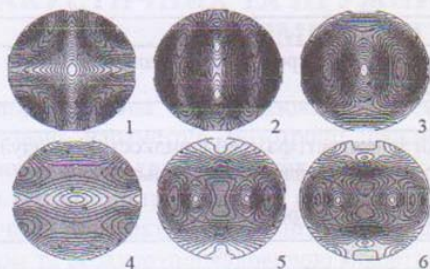


Рис. 4. Стереопроєкції диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d ,

ізоляції в %, зразки: 1) Вл-27; 2) Вл-31; 3) Вм-27; 4) Со-20; 5) Су-18; 6) Су-19.

Висновки. Аналіз параметрів акустичного тензору μ_{ij} зразків порід-колекторів Волино-Подільського регіону показав наявність принаймні дворівневої природи анізотропії пружних властивостей. Перший фактор анізотропії формується за рахунок речовинного складу, орієнтованого розташування зерен мінералів у породі, тріщин, текстурних особливостей. Він найбільш виражений у домінуючій літологічній групі зразків – пісковиках. Для пісковиків характерні найвищі діапазони зміни параметрів акустичної лінійності

L_{μ} , акустичної сланцюватості S_{μ} і інтегрального коефіцієнта пружної анізотропії A_{μ} , а максимальні величини мають зразки з ромбічною симетрією акустичного тензору μ_{ij} . Причиною такої варіації є, у першу чергу, структурно-текстурні особливості порід (пружні константи породоутворюючої породи, величина і орієнтація тріщинних систем породи, наявність чи відсутність заповнювача тріщин тощо). Другий фактор анізотропії, зв'язаний переважно з умовами утворення породи. Із зростанням глибини H відзначається зміна домінуючого типу акустичної симетрії: з планального на аксіальний для зразків з ромбічною симетрією. Причому із зростанням глибини H і літостатичного тиску P динаміка зміни параметрів акустичної лінійності L_{μ} переважає над відповідною зміною акустичної сланцюватості S_{μ} . Ця тенденція проявляється на фоні загального зростання A_{μ} але тільки для проміжних глибин; подальше зростання глибини H приводить до зниження інтегрального коефіцієнта пружної анізотропії A_{μ} .

Література

- Александров К.С., Продайвода Г.Т. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород. – Н.: Изд. СО РАН, 2000. – 354 с.
Вижва С.А. Геофизический мониторинг небезопасных геологических процессов. –К.:Обрії, 2004. – 236 с.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА МАТЕМАТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ АКУСТИЧЕСКИХ И УПРУГИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД ЗА ДАННЫМИ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

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

Предлагается автоматизированная система численного анализа и визуализации данных ультразвуковых измерений параметров анизотропии скоростей упругих квазипродольной, "быстрой" и "медленной" квазипоперечных волн в горных породах. Исследованы эффекты параметров анизотропии пород-коллекторов по результатам ультразвуковых измерений для сложных напряженно-деформационных условий. Определен ромбический тип акустической анизотропии, который обусловлен текстурными особенностями, вещественным составом и сложноупорядоченной микротрещиноватостью пород.

Ключевые слова: автоматизированная система; акустическая анизотропия; скорости упругих волн; микротрещины.

THE AUTOMATED SYSTEM OF MATHEMATICAL CALCULATIONS OF ACOUSTIC AND ELASTIC PROPERTIES OF ROCKS FROM THE ULTRASOUND MEASUREMENTS

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

The automated system of numerical analysis and visualization of these ultrasonic measurements of anisotropy parameters of velocities of elastic quasi-longitudinal, "fast" and "slow" quasi-transversal waves in rocks is offered. The effects of anisotropy parameters of rock-collectors are explored from the ultrasound results measurements for the complicated tense-deformed conditions. Orthorhombic type of acoustic anisotropy is discovered for rock specimens this is determined with texture, composition and rocks compound-ordered microfracturing.

Key words: automated system; acoustic anisotropy; elastic waves velocities; microcracks.

Київський національний університет, м. Київ