

УДК 550.834

І. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: bezin3@ukr.net;Д. Безродний, канд. геол. наук, доц.
E-mail: manific2@ukr.net;Р. Голяка, студ.
E-mail: holyaka_roman@ukr.netКиївський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська 90, м. Київ, 03022, Україна

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ ТА ПОРИСТОСТІ НА ПАРАМЕТРИ ПРУЖНОЇ АНІЗОТРОПІЇ СКЛАДНОПОБУДОВАНИХ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД ВОЛИНО-ПОДІЛЛЯ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

*Мета роботи – аналіз параметрів пружної і акустичної анізотропії при дослідженні багатокомпонентної моделі теригенної породи-колектора.**За результатами математичного моделювання складнобудованих пісковиків були визначені та проаналізовані параметри акустичної і пружної анізотропії розроблених моделей в залежності від літології, концентрації і типу включень. Для вирішення поставленої задачі використовувалися методи умовних моментних функцій з використанням розрахункової схеми Морі-Танака і метод найменших квадратів. В основу моделей взяті попередні публікації авторів і результати петрографічних досліджень в ННІ "Інститут геології".**Переважають більшість моделей складнобудованих порід-колекторів характерний ромбічно аксіальний тип симетрії текстури. Сланцюватий мотив текстури притаманний для моделей чистого кварцового пісковика і для пісковика з включеннями глинистого цементу.**В результаті збільшення концентрації пористості густина моделей зменшується. При включенні монтморилоніту її значення стає менше. Луски мусковіту і зерна кальциту в мінеральному складі породи збільшують величину густини з підвищенням концентрації останнього, однак при включенні глинистого мінералу густина зменшується, але вже в незначних межах.**Встановлено, що розроблені моделі характеризуються як слабо-, середньо- і високоанізотропні: зі збільшенням концентрації пористості коефіцієнт інтегральної акустичної анізотропії зменшується в межах десятків відсотків, різке його зменшення (на 3 %) спостерігається з включеннями монтморилоніту. У моделях з мінералами кварцу, кальциту, слюди спостерігається при концентраціях зерен кальциту 1 – 10 % зменшення коефіцієнта акустичної анізотропії, а в межах 10 – 20 % – поступове його збільшення. Зі збільшенням формату тріщин величина інтегрального коефіцієнта анізотропії переважно росте в межах 0,5 – 0,7 %.**Простежено поступове зменшення обчислених значень ефективних пружних постійних з підвищенням концентрації пористості, і навпаки, збільшення їх величин при включенні мінералів. Найбільш істотно ці зміни спостерігаються в значеннях недиагональних компонент.**За результатами проведеного моделювання були визначені та описані акустичні та пружні характеристики запропонованих моделей в залежності від типу і концентрації включень, які були представлені мінералами (монтморилоніт, кальцит і мусковіт) і пористостями різних форматів.**Ключові слова: математичне моделювання, пружна анізотропія, складнобудовані пісковики.*

Вступ. З кожним роком у геологічній науці все більше зростає інтерес до математичного моделювання геологічного середовища. Велика роль належить дослідженню ефективних акустичних і пружних властивостей складнобудованих порід-колекторів, а саме вивченню акустичної і пружної анізотропії, що дозволяє застосовувати фізико-математичні методи теорії пружних деформацій для характеристики досліджуваних зразків та порід.

Дана робота присвячена аналізу параметрів пружної та акустичної анізотропії при дослідженні багатокомпонентної моделі теригенної породи-колектора.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Дослідження анізотропії пружних властивостей осадових порід і мінералів нечисленні і досить суперечні. Дослідники, що займалися цим питанням, зокрема, A. Abouchakraguery, B.K. Atkinson, L. Chen, D. Grgic, F. Cormery, P. Haupt, Th. Kersten, D. Hoxha, A. Giraud, Y. Kozlovsky, V.E. Mirenkov, A.A. Krasnovsky, P. Plechac, J. Sgaoula, J. Shao, M.C. Weng, L.S. Tsai, K. Wilmański, K.C. Александров, С.А. Вижва, Б.П. Маслов, Г.Т. Продайвода, М.Г. Храмченков та інші [3, 5-8] приділяли також увагу і математичному моделюванню анізотропних акустичних властивостей.

Пряма задача акустики анізотропних середовищ зводиться до розв'язання рівняння Гріна-Крістофеля

$$(\Gamma_{il} - \rho^* v^2 \delta_{il}) u_l = 0,$$

де $\Gamma_{il} = C_{ijkl}^* n_j n_k$ – тензор Гріна-Крістофеля, C_{ijkl}^* – ефективний тензор пружних постійних середовища, ρ^* – його ефективна густина, u_l – компоненти вектору

пружних зміщень, δ_{il} – дельта Кронекера, n_k – компоненти вектору хвильової нормалі.

У загальному випадку триклинної пружної симетрії ця задача може бути вирішена чисельно за допомогою різних методів. Для вирішення поставленої задачі використовувалися раніше розроблений метод [3]. Його перевага полягає в можливості чисельних розрахунків параметрів для моделей максимально наближених до реального складнобудованого колектора [1-4].

Обернена задача при моделюванні зводиться до визначення пружних постійних, якщо відомі фазові швидкості вздовж чітко заданих напрямків хвильової нормалі й визначенні функції розподілу орієнтації мінералів і мікротріщин. Основними властивостями моделі є фазові швидкості розповсюдження пружних хвиль по вздовжній v_p та поперечній v_s поляризації, а також ефективна густина середовища. Інверсія даних здійснюється відомим методом найменших квадратів (МНК) з використанням методів нелінійної оптимізації.

Пружні та акустичні властивості теригенних порід визначаються не лише їхнім мінералогічним складом, але й їхньою мікроструктурою. Під мікроструктурою розуміється форма і розмір частинок, їх взаємна орієнтація і тип структурних зв'язків.

Математична модель складнобудованого теригенного колектора являє собою жорстку матрицю, яка мінералогічно представлена кварцом. Матриця розчленована різними за формою, розмірами та орієнтацією пористостями (насичені газом) з відмінними значеннями форматів ($\alpha = a/c$, де a , c – напіввісі сфероїда обертання) та мі-

нералами (з різною кристалографічною орієнтацією зерен певної форми; різними концентраціями включень).

Практично обґрунтування математичної моделі, що розроблена в роботі, базується на результатах комплексних геолого-петрофізичних досліджень складно-побудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину [4] колективу авторів ННІ "Інститут геології". Мінералогічно для математичного

моделювання обрано пісковик, основою якого є кварц, а включеннями мінерали: монтморилоніт (концентрація включень глини змінюється в деяких моделях від 1 до 20 %), мусковіт, зерна кальциту. Формат мінералів прийнятий як 0,7 подібно до попередніх досліджень осадових порід. Формати пустот та їх концентрації (табл. 1) обрані за результатами попередніх досліджень авторів [2–4].

Таблиця 1

Задані параметри математичних моделей

№ та назва моделі	Мінеральний склад (концентрація, %)	Формат пустот (концентрація, %)		
		Тріщини	Пустоти	
1. Тріщинно-поровий кварцовий пісковик	Кварц (90)	0,003 (1)	0,5 (1,3,5,7,9)	
2. Тріщинно-поровий кварцовий пісковик	Кварц (90)	0,003 (1)	0,9 (1,3,7,9)	
3. Кварцовий пісковик з глинистим цементом	Кварц (80), Монтморилоніт (10)	0,003 (1)	0,5 (4)	0,9 (5)
4. Кварцовий пісковик з глинистим цементом та слюдою	Кварц (65-88), слюда (5), монтморилоніт (1-20)	0,003 (1)	0,5 (4)	0,9 (5)
5. Кварцовий пісковик з глинистим цементом та включенням зерен кальциту і слюди	Кварц (55-75), слюда (5), кальцит (10), монтморилоніт (1-20)	0,003 (1)	0,5 (4)	0,9 (5)

Результати математичного моделювання. Автори провели математичне моделювання впливу мінерального складу, типу та величини пористості на параметри пружної та акустичної анізотропії пісковиків Волино-Полділля.

Розраховані та досліджені в поперечно-ізотропному наближенні наступні величини: густина моделі (ρ), коефіцієнт акустичної анізотропії (A_μ), пружні постійні (C_{ij}), параметри акустичного тензору (μ_{ij}), параметри акустичної лінійності (L_μ) та сланцюватості (S_μ). Результати дослідження представлені у вигляді таблиць, графіків та стереопроєкцій ізоліній значень параметрів акустичної анізотропії. На основі всіх одержаних даних математичного моделювання авторами отримані наступні результати.

Густина **моделі 1** зменшується зі зростанням концентрації пустот в межах 2553–2342 кг/м³, оскільки зменшується власна маса скелету і пори заповнюються більшим об'ємом газу зі значно меншою густиною, ніж у кварцу.

Коефіцієнт акустичної анізотропії зменшується в цій моделі від 7,77% до 7,23 %. Модель має ромбічно аксіальний тип симетрії текстури ($\mu_{11} \neq \mu_{22} \neq \mu_{33}$, $C_{11} < C_{22} > C_{33}$, $C_{44} > C_{55} > C_{66}$).

Модель 2 представлена середньо анізотропною породою, коефіцієнт її акустичної анізотропії відповідно зменшується від 7,63 % до 7,19 % і значно менший через наявність тріщин, ніж у попередній моделі. Тип симетрії текстури ромбічно аксіальний ($\mu_{11} \neq \mu_{22} \neq \mu_{33}$, $C_{11} < C_{22} > C_{33}$, $C_{44} = C_{55} \neq C_{66}$). Значення пружних постійних збільшуються зі збільшенням концентрації пустот, особливо для C_{12} з від'ємними значеннями.

Густина **моделі 3** менша в середньому на 200 кг/м³ за густину попередніх моделей, так як до наявних пустот додався глинистий мінерал монтморилоніт. Коефіцієнт акустичної анізотропії різко зменшується від 7,0% до 2,54% (від середньоанізотропної до низькоанізотропної породи).

В **моделі 4** залежність лінійності від сланцюватості показує переважно ромбічно аксіальний тип симетрії текстури ($\mu_{11} < \mu_{22} < \mu_{33}$, $C_{11} \neq C_{22} \neq C_{33}$, $C_{44} < C_{55} > C_{66}$). Встановлено поступове збільшення

пружних постійних зі зростанням концентрації мінералу. Однак для C_{12} притаманний від'ємний характер.

Модель 5 характеризується поступовим зменшенням густини зі збільшенням концентрації глинистого мінералу в межах 2403 – 2393 кг/м³. У порівнянні з моделлю 3, у моделі 5 включення зерен кальциту і лусок мусковіту зменшили вплив глини на густину. Модель – слабоанізотропна, коефіцієнт акустичної анізотропії A_μ змінюється від 1,16 % до 3,57 %. A_μ поступово зменшується при збільшенні концентрації глинистого мінералу від 1% до 10%, а потім він збільшується при концентраціях 15 – 20 %. Тип симетрії акустичної текстури ромбічно аксіальний ($\mu_{11} \neq \mu_{22} \neq \mu_{33}$). Наявність мінусових значень у трьох пружних постійних C_{12} , C_{13} , C_{23} говорить про відмінність моделі від поперечно-ізотропного середовища.

Переважають більшості моделей розглянутої теригеної складнопобудованої породи-колектора характерний ромбічно аксіальний тип симетрії текстури. Сланцюватий мотив текстури притаманний для моделей чистого кварцового пісковика та пісковика з включеннями глинистого цементу.

В результаті збільшення концентрації пустот густина моделей поступово зменшується. При включенні мінералу монтморилоніту значення густини стає меншим, так як густина мінералу нижча за густину скелету. Луски мусковіту і зерна кальциту у мінеральному складі породи збільшують величину густини з підвищенням концентрації останнього, однак при включенні глинистого мінералу густина зменшується, але вже у незначних межах.

За інтегральним коефіцієнтом акустичної анізотропії A_μ (приклад – на рис. 1-2) розглянуті моделі являються слабо-, середньо- і високоанізотропними. Зі збільшенням концентрації пустот A_μ зменшується в межах десятків відсотків. Різке зменшення A_μ на 3 % спостерігається зі включенням мінералу монтморилоніту. У моделях з мінералами кварцу, кальциту, слюди спостерігається при концентраціях зерен кальциту 1–10 % зменшення A_μ , а в межах 10–20 % – поступове збільшення акустичної анізотропії. Така ж зміна A_μ прослідковується

ся тоді, коли до мінерального складу кварц-кальцит-слюда включається глина, і концентрація збільшується від 1 % до 20 %, але в менших значеннях параметру A_{μ} . Зі збільшенням формату тріщин величина інтегрального коефіцієнту переважно зростає в межах 0,5–0,7 %, на відмінну від пор. Значення акустичної анізотропії різко зростає на 1,5 % при збільшенні форматів тріщин і одночасному зменшенню формату пор при однакових їхніх концентраціях.

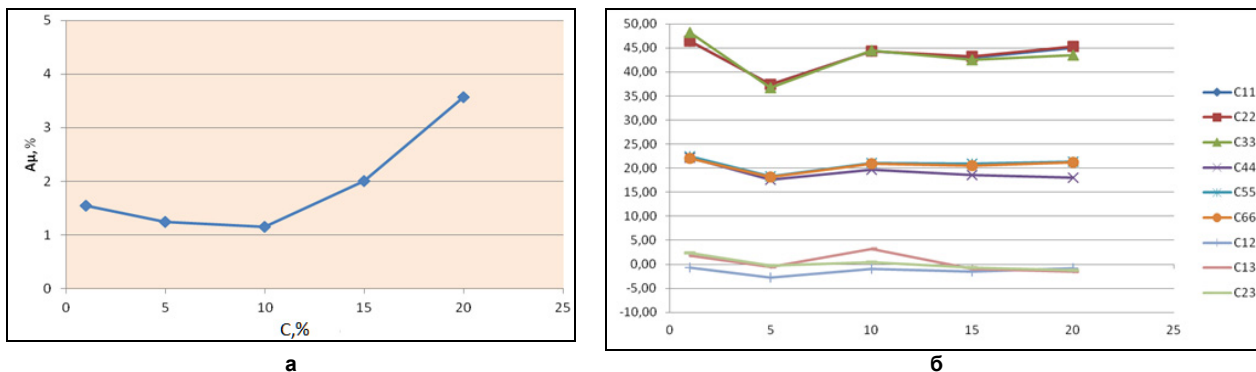


Рис. 1. Ефективні акустичні і пружні параметри моделі кварцовий пісковик з глинистим цементом та включенням зерен кальциту і слюди:

а – коефіцієнт інтегральної акустичної анізотропії, б – ефективні пружні постійні

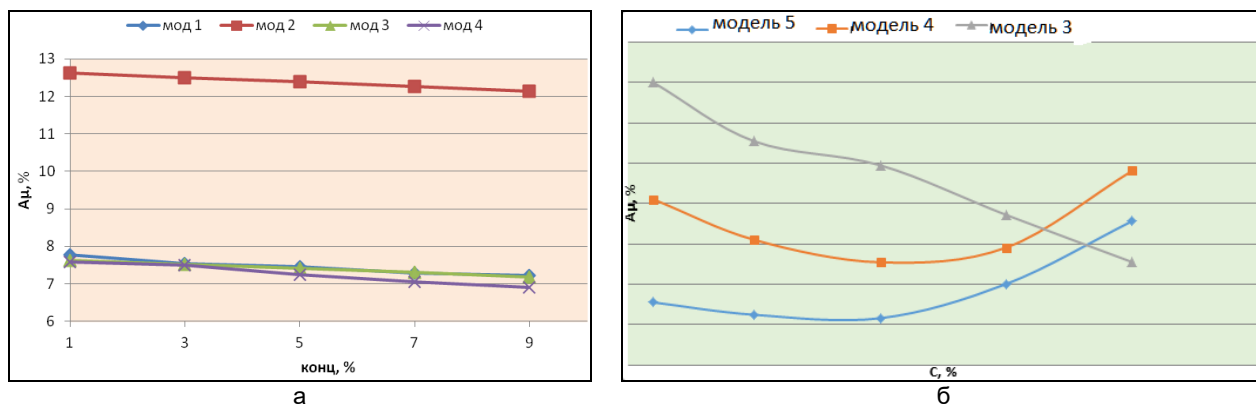


Рис. 2. Залежність коефіцієнта акустичної анізотропії від концентрації пор (а) та мінералів (б)

Прослідковується поступове зменшення значень відповідних пружних постійних C_{ij} з підвищенням концентрації пор, і навпаки, збільшення їхніх величин при включенні мінералів. Особливо ці зміни спостерігаються в значеннях недиагональних компонент. Крім того моделі характеризуються від'ємною складовою C_{12} , що може бути пов'язано з тим, що геологічне середовище, яке було змодельоване не відповідає поперечно-ізотропній симетрії.

Для вичерпного дослідження закономірностей розповсюдження пружних хвиль у математичних моделях теригенної породи-колектора був проведений аналіз параметрів пружної анізотропії (приклад див. на рис. 3).

Азимутальна залежність параметрів анізотропії представлена у вигляді стереопроєкцій ізоліній значень досліджених моделей, а саме:

- фазових швидкостей квазіповздовжньої хвилі;
- різниці значень фазових швидкостей "швидкої" і "повільної" квазіпоперечних хвиль;
- коефіцієнта диференціальної пружної анізотропії.

На стереопроєкціях вказівних поверхонь параметрів анізотропії моделей спостерігаються такі особливості:

Модель 1. Для вказівної поверхні фазової квазіповздовжньої хвилі проглядаються 3 екстремальні напрямки. Вздовж них поширюються повздовжні хвилі, вектори пружних зміщень яких збігаються з напрямком хвильової нормалі. Для цих напрямків характерні мінімальні кути відхилення векторів пружних зміщень від напрямку хвильової нормалі. Екстремальним значенням швидкостей відпові-

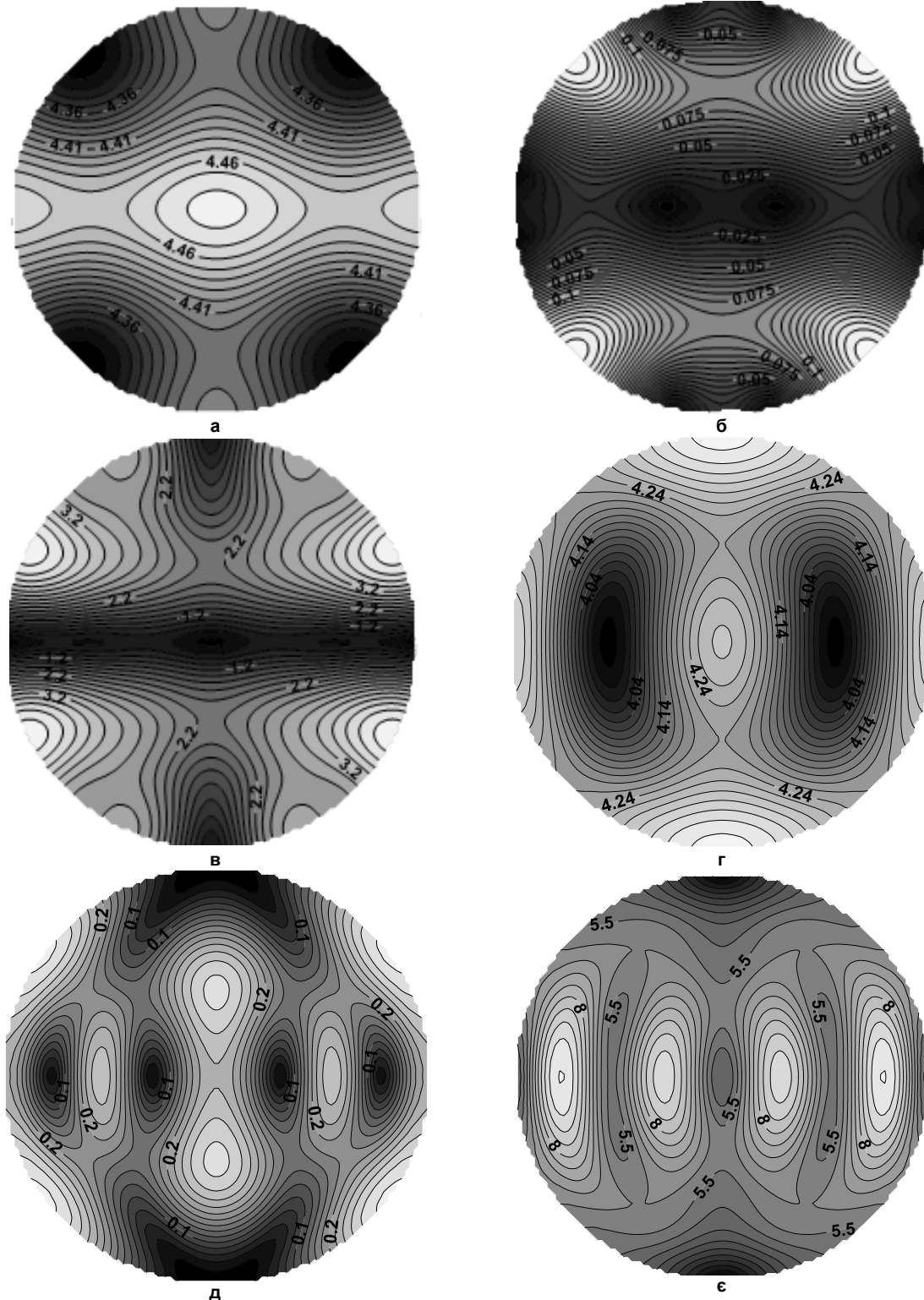
дають мінімальні коефіцієнти диференціальної пружної анізотропії A_d . Одержані результати A_d добре зіставляються з величиною інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_{μ} . Різниця між "швидкою" і "повільною" поперечними модами має значення 0,4 км/с для концентрації 1 % і 0,36 км/с для концентрації 9 %.

Модель 2. Характерні 3 екстремальні напрямки для вказівної поверхні квазіповздовжньої хвилі. Аналогічно першій моделі, у моделі 2 даним екстремальним напрямкам відповідають мінімальні значення диференціального коефіцієнту пружної анізотропії, а також найменша різниця "швидкої" і "повільної" поперечних хвиль. Проміжку значень диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d відповідає інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії A_{μ} . Величина A_d має змінний характер від 10,5 % для концентрації 1 % до 10 % для концентрації 9 %. У різниці "повільної" та швидкої" поперечних мод спостерігаємо її мінімальні значення у екстремальних напрямках хвильової нормалі. Отримана різниця становить 0,4 км/с для концентрації 1 % та 0,36 км/с для концентрації 9 %.

Модель 3. Спостерігається зменшення кількості екстремальних значень квазіповздовжньої хвилі на вказівній поверхні від 3 для концентрації 1 % до 1 для концентрації 20 %. Швидкість збільшується від 4,42 км/с для 1 % до 4,51 км/с для 20 % концентрації монтморилоніту. Різниця "повільної" і "швидкої" поперечних хвиль значно зменшується від 0,36 км/с для концентрації 1 % до 0,16 км/с для

20 %. При цьому, максимальне значення різниці поперечних мод співпадає з екстремальним напрямком квазіповздовжньої хвилі. Диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії A_d має характер зміни від максимального 10 % для 1 % до 5 % для 20% концентрації мінералу. Також, з ним добре зіставляється інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії. Два мінімальних значення A_d , що показують закономірність розповсюдження пружних хвиль як у ізотропному середовищі, і не співпадають з екстремальним напрямком хвильової нормалі, але їм відповідають максимальні величини різниці "швидкої" і "повільної" поперечних мод.

ент акустичної анізотропії. Два мінімальних значення A_d , що показують закономірність розповсюдження пружних хвиль як у ізотропному середовищі, і не співпадають з екстремальним напрямком хвильової нормалі, але їм відповідають максимальні величини різниці "швидкої" і "повільної" поперечних мод.



Модель 4. На відміну від концентрації 1 % з наявним одним екстремальним значенням, модель 5 для концентрації 20 % має наблизенні до екстремальних напрямків чотири величини. Різниця "швидкої" і "повільної" поперечних хвиль змінюється від максимального 0,14 км/с для концентрації 1 % до 0,28 км/с для концентрації 20 %. Чітко виділяються 4 максимальні значення різниці поперечних мод. Диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії A_d змінюється в максимальних величинах від 5,6 для концентрації 1 % до 7,5 для 20 %. Мінімальне значення A_d співпадає за напрямком з мінімальною різницею "повільної" і "швидкої" поперечних хвиль. Інтегральний коефіцієнт акустичної анізотропії A_μ добре корелює з A_d .

Модель 5. Вказівна поверхня фазової швидкості квазіповздовжньої хвилі для моделі 5 має три екстремальних напрямки. Вздовж них поширюються повздовжні хвилі, вектори пружних зміщень яких збігаються з напрямком хвильової нормалі (рис. 3, а, г). Крім того, напрямки хвильової нормалі, що відповідають екстремальним значенням швидкостей, збігаються з максимумами диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d (рис. 3, в, є). Величина різниці між "швидкою" і "повільною" поперечними модами змінюється від 0,15 км/с для концентрації 1 % до 0,32 км/с для концентрації 20 %, а кількість екстремумів від 2 до 8 для максимальної концентрації (рис. 3, б, д). Значення інтегрального коефіцієнту акустичної анізотропії A_μ добре узгоджуються із середніми значеннями диференціального коефіцієнту пружної анізотропії A_d (рис. 3, в). Значення A_d змінюються від максимальних 4,2 % для концентрації 1 % до 10,5 % для концентрації 20 %. Явних площин, у яких закономірність розповсюдження пружних хвиль наближається до ізотропного середовища, не спостерігається. Максимальним значенням відповідають мінімальні значення різниці "швидкої" і "повільної" поперечних мод.

Таким чином, на стереопроєкціях кількісно і якісно відображаються вплив мінерального складу та типів пористості моделей порід та значні зміни в значеннях параметрів їх акустичної анізотропії.

Найбільш інформативним параметром анізотропії є диференціальний коефіцієнт пружної анізотропії (A_d). Значення цього параметру (від 4,2 % до 15,5 %) зменшується зі збільшенням концентрації порот, і для різних типів тріщинно-порового простору A_d має неоднакові значення. Зміна пружної анізотропії при зменшенні формату пор у два рази збільшує значення A_d , на відміну від зміни типу тріщин. Включення мінералу монтморилоніту різко знижує пружну анізотропію при концентрації 20 % у два рази до значення A_d – 5 %, але при наявності зерен кальциту і лусок мусковіту диференціальний коефіцієнт анізотропії зростає до 10 %. Встановлено, що структурні особливості включеного мінералу мають більший вплив для визначення ступеню пружної анізотропії породи в цілому, ніж формати порот цієї моделі породи.

Висновки Таким чином, в результаті проведеного моделювання були визначені і описані акустичні та пружні характеристики запропонованих моделей в залежності від типу та концентрації включень, які були представлені мінералами (монтморилоніт, кальцит і мусковіт) та пустотами різних форматів. Результати проведеного математичного моделювання є важливим етапом при обґрунтуванні математичних моделей, що використовуються при інтерпретації геофізичних даних для пошуків і розвідки газонасичених порід-колекторів.

Перспективами в розвитку математичного моделювання складнопобудованих теригенних порід наведеного типу є врахування отриманих висновків та проведення розрахунків аналізу ефективних пружних постійних в ромбічному наблизенні, що найкраще наблизить математичну модель до реального геологічного середовища

Список використаних джерел

1. Александров К. С. Анизотропия упругих свойств минералов и горных пород / К. С. Александров, Г. Т. Продайвода. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2000. – 354 с.
2. Безродна І. М. Оцінка структури пустотного простору карбонатних порід за результатами акустичних досліджень в умовах змінного тиску / І. М. Безродна. // Вісник НГУ. – 2014. – №3. – С. 21–25.
3. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу / Г.Т. Продайвода, С.А. Вижва, І.М. Безродна, Т.Г. Продайвода. – Київ: ВПЦ "Київський університет", 2011. – 367 с.
4. Комплексні геолого-петрофізичні дослідження складнопобудованих порід-колекторів східного схилу Львівського палеозойського прогину: звіт з НДР / [С. А. Вижва, Г. Т. Продайвода, І. М. Безродна та ін.]. – К., 2011. – 594 с.
5. A micromechanical model for the elasto-viscoplastic and damage behavior of a cohesive geomaterial / A. Abouchakruey, F. Cormery, K. Su та ін. // PhysChem Earth. – 2008. – №33. – С. 416–421.
6. An associated elastic-viscoplastic constitutive model for sandstone involving shear-induced volumetric deformation / M. Weng, L. Tsai, Y. Hsieh, F. Jeng. // Int J Rock Mech Min Sci. – 2010. – №47. – С. 1263–1273.
7. Atkinson B. K. Subcritical crack propagation in rocks: theory, experimental results and applications / B. K. Atkinson // J Struct Geol. – 1982. – №4. – С. 41–56.
8. Grgic D. Modelling of the short and long-term behavior of rocks of Lorraine (France) ferriferous formation: автореф. дис. ... канд. геол.-мін. наук / D. Grgic; INPL, Nancy (in French), 2001.

References

1. Aleksandrov K.S., Prodaivoda G.T. (2000). Anizotropiia uprugikh svoystv mineralov i gornyykh porod. Publishing RAS, 354 p. [in Russian].
2. Bezrodna I.M. (2014). Otcinka strukturi pustotnogo prostoru karbonatnykh porid za rezultatami akustichnykh doslidzhen v umovakh zminnogo tisku. Vestnik NSU, 3, 21-25. [in Ukrainian].
3. Prodaivoda H.T., Vyzhva S.A., Bezrodna I.M., Prodaivoda T.H. (2011). Heofizychni metody otsinky produktyvnosti kolektoriv nafty i hazu. VPTs "Kyivskyi universytet", 367 p. [in Ukrainian].
4. Vyzhva S.A., Prodaivoda G.T., Bezrodna I.M. та інш. (2011). Kompleksni geologo-petrofizichni doslidzhennia skladnopobudovanykh porid-kolektoriv skhidnogo skhilu Lvivskogo paleozoiskogo progynu: zvit z NDR, 594 p. [in Ukrainian].
5. Abouchakruey A., Cormery F., Su K., Shao J., Kondo D. (2008) A micromechanical model for the elasto-viscoplastic and damage behavior of a cohesive geomaterial. PhysChem Earth, 33, 416–421.
6. Weng M.C., Tsai L.S., Hsieh Y.M., Jeng F.S. (2010) An associated elastic-viscoplastic constitutive model for sandstone involving shear-induced volumetric deformation. Int J Rock Mech Min Sci., 47(8), 1263–1273.
7. Atkinson B.K. (1982). Subcritical crack propagation in rocks: theory, experimental results and applications. J Struct Geol., 4, 41-56.
8. Grgic D (2001) Modelling of the short and long-term behavior of rocks of Lorraine (France) ferriferous formation. Ph.D. Thesis, INPL, Nancy.

Надійшла до редколегії 01.04.16

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol.)

E-mail: bezin3@ukr.net;

D. Bezrodnyi, Cand. Sci. (Geol.), Associate professor

E-mail: manific2@ukr.net;

R. Holiaka, student

E-mail: holyaka_roman@ukr.net

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

MATHEMATICAL MODELLING OF INFLUENCE OF THE MINERAL COMPOSITION AND POROSITY ON ELASTIC ANISOTROPIC PARAMETERS OF COMPLEX SEDIMENTARY ROCKS OF VOLYN-PODOLIA AREA

The purpose of this paper is to analyze parameters of acoustic and elastic anisotropy registered at studying multi-species model of sedimentary reservoir.

According to the results of mathematical modeling of complexly structured sandstones, the parameters of acoustic and elastic anisotropy of developed models have been received and analyzed depending on lithology, concentration and type of inclusions. Methods of moment functions with using a calculated Mori-Tanaka scheme and the method of least squares are used to solve this problem. The model is based on previous publications of the authors and the results of petrographic studies carried out at ESI 'Institute of Geology'.

Rhombic type axial symmetry texture is typical for the majority of models of complex reservoir rocks. Slaty texture motif is characteristic for the models of pure quartz sandstone and sandstone with inclusions of clay cement.

As a result of increasing the concentration of voids density of models decreases. At presence of montmorillonite density value becomes smaller. Muscovite flakes and calcite grains present in mineral composition of rocks increase the density with increasing concentrations of the latter. However, at presence of clay mineral inclusions density decreases, but in a small range.

It is established that the developed models might be described as low, medium and high anisotropic ones. At increasing concentration of voids coefficient of integrated acoustic anisotropy decreases at about tenth of percent, with sharp decrease (3 %) being observed at presence of montmorillonite. In models with quartz, calcite, mica minerals the decrease of coefficient of the acoustic anisotropy is observed at calcite grains concentrations of 1-10 %, and in case of 10-20 % of their concentration it is gradually increase. With increasing the size of cracks value of integral factor of anisotropy mainly rise within 0.5-0.7 %.

Gradual reduction of the calculated values of elastic constants is observed at increasing concentration of voids, and vice-versa, their values are increased at presence of inclusions of minerals. The most large changes are observed in the values of non-diagonal components.

As the result of the modeling, acoustic and elastic characteristics of the proposed models were described depending on the type and concentration of inclusions represented by minerals (montmorillonite, calcite and muscovite) and voids of different formats.

Keywords: mathematical modelling, elastic anisotropic, complexly structured sandstones.

И. Безродная, канд. геол. наук, ст. науч. сотруд.

E-mail: bezin3@ukr.net;

Д. Безродный, канд. геол. наук, доц.

E-mail: manific2@ukr.net;

Р. Голяка, студ.

E-mail: holyaka_roman@ukr.net

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,

УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская 90, г. Киев, 03022, Украина

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА И ПОРИСТОСТИ НА ПАРАМЕТРЫ УПРУГОЙ АНИЗОТРОПИИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ ТЕРИГЕННЫХ ПОРОД ВОЛЫНО-ПОДОЛЯ

Цель работы – анализ параметров упругой и акустической анизотропии при исследовании многокомпонентной модели терригенной породы-коллектора.

По результатам математического моделирования сложнопостроенных песчаников были получены и проанализированы параметры акустической и упругой анизотропии разработанных моделей в зависимости от литологии, концентрации и типа включений. Для решения поставленной задачи использовались методы условных моментных функций с использованием расчетной схемы Мори-Танак и метод наименьших квадратов. В основу моделей взяты предыдущие публикации авторов и результаты петрографических исследований в УНИ "Институт геологии".

Подавляющему большинству моделей сложнопостроенных пород-коллекторов характерен ромбический аксиальный тип симметрии текстуры. Сланцеватый мотив текстуры присущ для моделей чистого кварцевого песчаника и для песчаника с включениями глинистого цемента.

От плотности моделей уменьшается. При включении монтмориллонита значение плотности становится меньше. Чешуи мусковита и зерна кальцита в минеральном составе породы увеличивают величину плотности с повышением концентрации последнего, однако при включении глинистого минерала плотность уменьшается, но уже незначительно.

Установлено, что разработанные модели характеризуются как слабо-, средне- и высоко анизотропные: с увеличением концентрации пустот коэффициент интегральной акустической анизотропии уменьшается в пределах десятков процентов, резкое его уменьшение (на 3 %) наблюдается с включением монтмориллонита. В моделях с минералами кварца, кальцита, слюды наблюдается при концентрациях зерен кальцита 1 – 10 % уменьшение коэффициента акустической анизотропии, а в пределах 10 – 20 % – постепенное его увеличение. С увеличением формата трещин величина интегрального коэффициента анизотропии преимущественно растет в пределах 0,5-0,7 %.

Прослежено постепенное уменьшение рассчитанных значений эффективных упругих постоянных с повышением концентрации пустот, и наоборот, увеличение их величин при включении минералов. Наиболее сильно эти изменения наблюдаются в значениях недиагональных компонент.

В результате проведенного моделирования были определены и описаны акустические и упругие характеристики предложенных моделей в зависимости от типа и концентрации включений, которые были представлены минералами (монтмориллонит, кальцит и мусковит) и пустотами различных форматов.

Ключевые слова: математическое моделирование, упругая анизотропия, сложнопостроенные песчаники.