

УДК 550.552.53.553

І. Безродна, канд. геол. наук, ст. наук. співроб.
E-mail: bezin3@ukr.net;
С. Вижда, д-р геол. наук, проф.
E-mail: vyzhvas@gmail.com

Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна

АНАЛІЗ АКУСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ РУНОВЩИНСЬКОЇ ПЛОЩІ НА ОСНОВІ ПЕТРОФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ У РІЗНИХ БАРИЧНИХ УМОВАХ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, проф. М.І. Орлюком)

Представлено результати петроакустичних досліджень 68 зразків керна порід свердловини № 110 Руновщинської площі Дніпровсько-Донецької западини (ДДЗ) України. Дослідження швидкостей поздовжніх хвиль зразків виконано в різних баричних умовах за допомогою установок: "Керн-4" і високого тиску ВСЦ-1000. Проведено аналіз отриманих даних і розраховано пластові значення швидкостей поздовжніх хвиль.

Розглянуто характер зміни швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль для атмосферних умов вимірювання. Показано, що переважна кількість насичених мінералізованою водою зразків мають швидкість поздовжньої хвилі 3200–3500 м/с (для сухих зразків – 2100–2550 м/с), а швидкість поперечної хвилі для насичених зразків – 2100–2550 м/с (для сухих – 1400–1500 м/с).

Для колекції зразків, що виміряна в атмосферних умовах, встановлено кореляційну залежність швидкостей поздовжніх хвиль від їхньої густини з тісною кореляцією.

Досліджено кореляційні зв'язки швидкостей пружних хвиль від відкритої пористості насичених зразків. Встановлено залежності $V_p = f(K_p)$ з високим коефіцієнтом кореляції для трьох окремих вибірок однотипних за складом пісковиків.

При аналізі результатів акустичних досліджень в умовах змінних тисків для більшості зразків з досліджених інтервалів авторами отримано такі закономірності. Значення швидкості поздовжньої хвилі, що виміряні в атмосферних умовах, завжди менші за такі значення, отримані після зняття напруги; проте іноді спостерігаються досить відчутні коливання в їхній різниці, що можна пояснити різким (можливо, стрибкоподібним) закриттям мікротріщин у породі при збільшенні тиску та їхнім уповільненим розкриттям чи нерозкриттям при його зменшенні. Найбільш контрастні зміни в поведінці швидкостей поздовжньої хвилі характерні для окремих зразків (№ 27, 48, 50, 53/1), що, швидше за все, пояснюється характером структури пористої породи.

На основі апріорних даних і за результатами досліджень зразків за змінних тисків авторами розраховано значення швидкостей поздовжніх хвиль у пластових умовах, проведено їхній порівняльний аналіз із швидкостями, характерними для порід в атмосферних умовах, побудовано тісну ($R^2 = 0,85$) кореляційну залежність досліджених параметрів.

Ключові слова: петроакустичні дослідження, умови змінних тисків, Руновщинська площа.

У зв'язку зі збільшенням глибин досліджень, температур і тисків в інтервалах пошуку та розвідки складно побудованих порід-колекторів, наявний комплекс геофізичних досліджень не завжди дає надійні результати при інтерпретації даних. Підвищення ефективності таких геофізичних досліджень може бути досягнуто за рахунок широкого залучення комплексних лабораторних петрофізичних досліджень. При пошуках і розвідці перспективних у нафтогазовому відношенні об'єктів завжди актуальним є проведення робіт у петрофізичних лабораторіях, де фізичні властивості зразків порід вивчаються в атмосферних умовах і в умовах, що моделюють пластів.

Стан проблеми. Петрофізичні дослідження осадових порід у пластових умовах є підґрунтям для складання петрофізичних моделей геологічних розрізів, які набагато поширюють можливості пошуків корисних копалин, зокрема нафти і газу. Певне місце серед фізичних характеристик геологічних порід становлять пружні параметри гірських порід і дані їхнього дослідження за високих тисків і температур. Подібна інформація сьогодні вельми обмежена і не систематизована (Корчин, 2010).

Дослідженням впливу тиску на швидкість пружних хвиль у породі займалися М. Adelinet, F. Birch, Chi-Yuen Wang, D.W. Durney, Y. Gueguen, D.H. Johnston, K. Klima, T. Lokajicek, Z. Pros, G. Simmons, T. Todd, M.N. Toksoz, L. Vernik, K. Vozoff, G. Yu, Г.М. Авчян, І.М. Безродна, Є.Б. Григорьев, Н.Б. Дортман, Є.Ф. Жук, В.С. Жуков, О.В. Іселідзе, Л.В. Конькова, В.А. Корчин, О.А. Матвеевко, Л.І. Орлов, Г.Т. Продайвода, А.Е. Рижов, З.Б. Стефанкевич, В.Г. Топорков та ін. Результати досліджень свідчать про те, що вплив баричних умов на фізичні, зокрема акустичні властивості порід може бути досить значним і неоднорідним (Kern, 2001).

Значні зміни швидкостей пружних хвиль низькопористих порід відбуваються на перших етапах стиснення (100–200 МПа) і пов'язані вони із закриттям мікротріщин, тонких порожнин на контактах зерен і найбільш нестійких порожнин, що веде до загального зростання міцності

породи. Причому для низьких тисків швидкість поздовжньої хвилі в насичених зразках більша, ніж у сухих на 20–30 % (Pros, 1991). Для більших значень тиску зміни швидкості поздовжньої хвилі менш суттєві й пов'язані з ущільненням породи та контактів між зернами мінералів, а також продовженням закриття мікротріщин. При зростанні тиску від атмосферного до 400 МПа швидкість Р-хвилі у щільних породах, наприклад у граніті (Pros, 1998), може зрости на 24 %. Затухання пружних хвиль під впливом тиску значною мірою залежить від типу породи, її пористості та тріщинуватості, а для сухих порід (пісковики і вапняки) – вище, ніж для водонасичених (Johnston, 1980).

Значення, отримані для зростаючого тиску, зазвичай відрізняються від отриманих для спадаючого тиску через присутність незворотних деформацій у зразках порід. Крім того, дані для тисків вище за 500–600 МПа можна апроксимувати лінійною залежністю (Вижда, 2017; Баюк, 1982).

Вплив тиску на інтервальний час пробігу пружної хвилі має такий характер. Найменше змінюється для низькопористих порід, найбільше (близько 40–50 %) – для високопористих і слабкоцементованих порід, підвищення всебічного стиснення призводить до поліпшення акустичного контакту між окремими зернами, і, відповідно, до різкого зменшення часу проходження акустичних хвиль (Орлов, 1981).

В Україні питання впливу термобаричних умов на петрофізичні властивості гірських порід і дослідження порід-колекторів в умовах, що моделюють пластів, вивчено недостатньо, основні дослідження у цьому напрямі представлені роботами І.М. Безродної та С.А. Вижди (вплив тиску на акустичні та електричні параметри гірських порід) (Безродна, 2014; Вижда, 2017), С.Д. Федоришина (впливу тиску і температури на електропровідність складно побудованих порід-колекторів) (Федоришин, 2014), В.В. Рябухи (вплив тиску, що моделює пластовий, на електричні властивості порід)

(Рябуха, 2007), В.П. Коболева та О.Ю. Корчина (вплив термобаричних умов на кристалічні гірські породи) (Корчина, 2010). Однак вивчення петрофізичних властивостей порід-колекторів в умовах, що моделюють пластові, у цих роботах зазвичай обмежується дослідженням питомого електричного опору та швидкостей пробігу пружних хвиль, а зв'язок фізичних параметрів з фільтраційно-ємнісними вивчений недостатньо.

Мета даної роботи – узагальнення акустичних властивостей порід-колекторів Руновщинської площі (C_3) в різних баричних умовах: від атмосферного до тиску, який відповідає умовам залягання порід у свердловині.

Руновщинська площа належить до перспективної Будинщинсько-Чутівської ділянки, що розташована в приосовій зоні Дніпровсько-Донецької западини з товщиною осадового комплексу 9–11 км. Ділянка являє собою діяпір і належить до територій з активним соляним тектогенезом. За відкладами нижнього і середнього карбону Руновщинське підняття являє собою вузьку брахіантикліналь субширотного простягання. На Руновщинській площі відкрито три родовища (два газові та одне нафтове).

Авторами проведено дослідження швидкостей поздовжніх хвиль колекції із 68 зразків Руновщинської площі (інтервали 3145–3158 м, 3217,2–3228,15 м, 3261,5–3283 м, 3313–3315 м свердловини № 110). Роботи виконано в межах госпдоговірної тематики в петрофізичній лабораторії ННІ "Інститут геології" Київського національного університету імені Тараса Шевченка на замовлення ДП "Наука нафтогаз України".

Зразки, що досліджувалися, представлені пісковиками відділу верхнього карбону (C_3) світло-сірими зі слабким зеленуватим відтінком, середньо- і крупнозернистими, олігоміктовими, із глинистим безкарбонатним цементом і вкращеною вуглефікацією, однорідної нешаруватої текстури. Склад пісковиків за основними компонентами варіює від олігоміктового до аркозо-граувакового за наявності більше 10 % теригенних уламків порід. Судячи із форми та характеру складу уламків, перенесення теригенного матеріалу відбувалося на незначну відстань. Породи утворилися за рахунок руйнування та перевідкладення матеріалу раніш сформованої теригенно-осадової товщі, до складу якої входили олігоміктові пісковики на каолінітовому цементі, що утворилися в процесі перемивання кір вивітрювання кристалічних порід, аргілітів, алевролітів, кременистих та ефузивних порід. Склад цементу переважно глинистий, подекуди слюдисто-глинистий. Фіксується також елемент вилугування каолінітового цементу та польових шпатів із формуванням порожнин вилугування, які пізніше повністю або частково заповнюються кальцитом, доломітом, ангідритом та гіпсом (Вижва С.А. та ін., 2014).

Методика досліджень Швидкості поширення пружних хвиль визначалися із застосуванням імпульсно-фазового ультразвукового методу за допомогою цифрової установки "Керн-4", яку створено в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка. У процесі проведення ультразвукових вимірювань фазових швидкостей бралися до уваги дифракційні ефекти, які обумовлені розмірами п'єзоелектричних випромінювачів і

приймачів ультразвукових хвиль та анізотропією гірських порід. Для експериментальних петрофізичних досліджень у різних баричних умовах використовувалась установка високого тиску ВСЦ-1000, яку було сконструйовано також у ННІ "Інститут геології" (Вижва, 2014). Установка дає можливість за зміни тиску від 1 МПа до 1000 МПа вимірювати швидкості пружних хвиль та електричний опір насичених зразків. Дослідження виконувалися при збільшенні тиску від 0,1 до 120–400 МПа (залежно від вибірки зразків, яка виділена на основі глибини залягання порід) із кроком 10–50 МПа та за зворотного зменшення тиску до атмосферних умов.

Результати Лабораторні дослідження акустичних параметрів у різних баричних умовах дозволили визначити низку закономірностей, які характеризують вивчені породи.

Результати акустичних вимірювань показали, що значення швидкостей поздовжньої поляризації для екстрагованих зразків-пісковиків змінювались від 1889 м/с до 3224 м/с (для найменш пористих зразків) за середнього значення 2339 м/с (табл. 1). Значення швидкостей поперечних хвиль змінювалось від 1194 м/с (для найбільш пористих зразків) до 2066 м/с за середнього значення параметра 1492 м/с. При цьому відношення V_p/V_s зазвичай змінювалось у нешироких межах: 1,5–1,8.

Для досліджень в умовах стиснення зразки насичувалися моделлю пластової води (розчин NaCl з мінералізацією 170 г/л). При насиченні значення швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль, а також їхнє відношення, збільшилися переважно пропорційно відкритій пористості зразків, у деяких зразках – меншою мірою, завдяки, імовірно, глинистому цементу. Середнє значення швидкостей поздовжніх хвиль збільшилося більш ніж на 1000 м/с, а швидкостей поперечних хвиль – майже на 300 м/с. Насичення зразків привело до зміни акустичних властивостей зразків залежно від мінерального складу та структури пористого простору (зокрема типів пустот та їхньої орієнтації). Ці відмінності також характеризують доволі широкі межі змін відношення V_p/V_s , яке варіює від 1,55 до 2,31 (табл. 1).

За результатами петрофізичних досліджень зразків, що насичені моделлю пластової води, в атмосферних умовах авторами проведено аналіз вимірних значень швидкостей поздовжньої (V_p) та поперечної (V_s) поляризації. Для аналізу даних петроакустичних досліджень побудовано гістограми розподілення параметрів і графіки залежності параметрів від глибини відбору зразків (рис. 1).

За гістограмами зміни швидкостей пружних хвиль (рис. 1) встановлено, що переважна кількість насичених зразків має швидкість поздовжньої хвилі в інтервалі 3200–3500 м/с (сухі – 2100–2550 м/с), а швидкість поперечної хвилі – 2100–2550 м/с (сухі – 1400–1500 м/с). Гістограми V_p та V_s мають наближено нормальний розподіл, що говорить про відносно однотипний мінеральний склад розглянутих порід.

Авторами для насичених зразків розрахована кореляційна залежність між швидкістю поздовжніх хвиль і об'ємною густиною порід (рис. 2).

Таблиця 1

Межі змін і середні значення акустичних параметрів пісковиків верхнього карбону

Значення параметра	Екстраговані зразки			Зразки, насичені моделлю пластової води		
	V_p , м/с	V_s , м/с	V_p/V_s	V_p , м/с	V_s , м/с	V_p/V_s
Середнє	2339	1492	1,57	3366	1786	1,8
Мінімальне	1889	1194	1,47	2918	1353	1,55
Максимальне	3224	2066	1,81	4596	2153	2,31

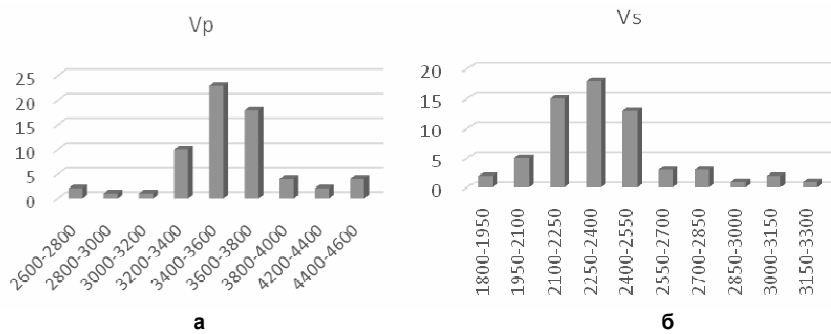


Рис. 1. Гістограми розподілу швидкостей пружних хвиль (атмосферні умови) у насичених зразках свердловини № 110 Руновщинської площі: а – швидкість поздовжньої хвилі; б – швидкість поперечної хвилі

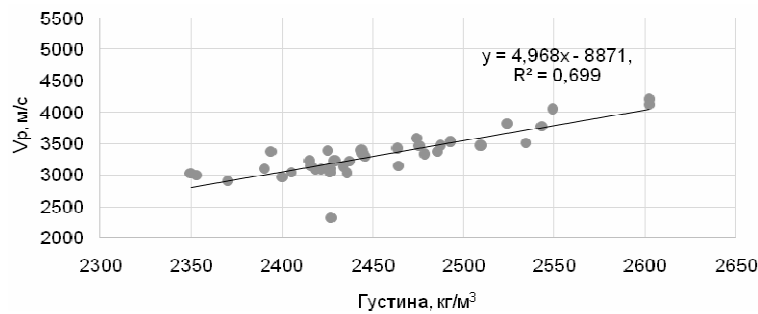


Рис. 2. Зміна швидкості поздовжньої хвилі насичених зразків свердловини № 110 Руновщинської площі залежно від густини

При аналізі залежностей швидкостей поздовжніх і поперечних хвиль зразків від коефіцієнта відкритої пористості авторами не встановлено надійної залежності для всієї вибірки зразків. Це пояснюється, можливо, різним типом пустотного простору зразків. Більш стійкі залежності $V_p = f(K_n)$ отримані для трьох окремих вибірок однотипних за складом пісковиків (рис. 3). Стійка залежність для швидкостей поперечних хвиль авторами була отримана тільки для вибірки № 3. Це пояснюється авторами тим, що швидкості поперечних хвиль більш чутливі до неконтрольованих змін структури породи, які відбуваються за насичення.

Отримані взаємозв'язки апроксимуються здебільшого лінійними функціями з доволі тісною кореляцією (рис. 3). У подальшому авторами планується вивчення структури пустотного простору зразків свердловини саме за цими трьома вибірками.

На установці високого тиску проводилось вивчення тільки швидкостей поздовжніх хвиль насичених зразків.

Майже для всіх зразків з представлених інтервалів свердловини № 110 спостерігалось поступове зростання швидкості поздовжньої хвилі зі збільшенням тиску до його максимального значення, а потім зменшення величини V_p за більш плавною траєкторією.

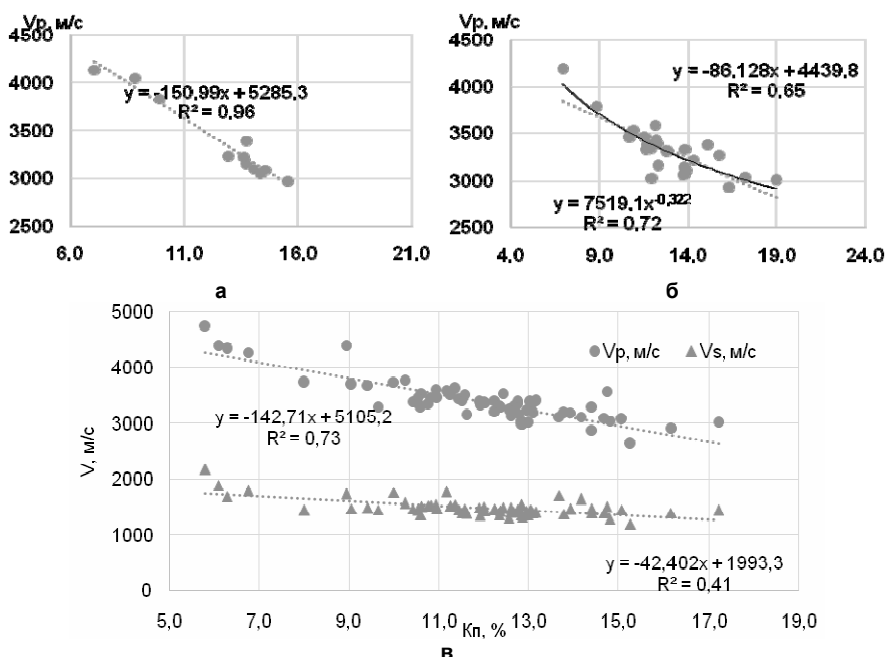


Рис. 3. Залежність швидкостей поширення пружних хвиль від пористості для вибірок № 1 (а), 2 (б), 3 (в) насичених пісковиків

Швидкості поздовжньої хвилі, що виміряні за атмосферного тиску ($V_{p \text{ атм}}$), для інтервалу глибин 3145–3158 м свердловини № 110 змінюються у досить широкому діапазоні від майже 3000 м/с до 4600 м/с (приклад на рис. 4, а), що є досить істотною величиною для інтервалу незначної потужності.

Максимальні значення ($V_{p \text{ max}}$), що відповідають умовам найвищого тиску, змінюються менш суттєво і коливаються у межах 4000–4950 м/с. Діапазон зміни $V_{p \text{ max}}$ майже вдвічі менший, ніж для умов атмосферного тиску. Істотно змінюються порівняно зі швидкостями $V_{p \text{ атм}}$ і їхні значення після циклу "навантаження-розвантаження" – від 3400 м/с до 4650 м/с. Найбільш контрастні зміни в поведінці швидкостей поздовжньої хвилі спостерігалися для зразків № 25, 27, 28 (інтервал 3274,2–3274,7 м), де амплітуда збільшення V_p коливається від 700 до майже 1100 м/с, що, швидше за все, пояснюється характером закриття мікротріщин у породі можливо більшою кількістю тріщин порівняно з іншими зразками цього інтервалу.

В інтервалі глибин 3217–3228 м поведінка поздовжніх швидкостей пружних хвиль (рис. 4, б) більш витримана (крім зразків № 48, 50 та 53/1), ніж у попередньому інтервалі, хоч значення $V_{p \text{ атм}}$ коливаються у межах 2700–4050 м/с. Перепад значень $V_{p \text{ атм}}$ становить 1350 м/с, що значно менше за попередній інтервал. Більш плавно змінюються максимальні значення хвилі поздовжньої поляризації за найвищого тиску: від 3750 до 4550 м/с. Як і для попереднього інтервалу спостерігається коливання значень $V_{p \text{ max}}$ порівняно з $V_{p \text{ атм}}$: діапазон їхньої зміни – від 3100 до 4350 м/с. Слід зазначити, що подібні коливання у швидкостях поздовжніх хвиль зразків дозволяють охарактеризувати даний інтервал як більш витриманий за своїми текстурно-структурним особливостям. Усі ці ознаки не стосуються трьох зразків даного інтервалу (зразки № 48, 50 та 53/1). Швидкість

поздовжньої хвилі в них за невеликого стиснення (0,1–100 МПа) значно зменшується, скоріш за все за рахунок порушення крихких мінералів і збільшення пористості, а за подальшого стискання – швидко збільшується до початкових значень $V_{p \text{ атм}}$ за рахунок закриття мікротріщин. Швидкості $V_{p \text{ атм}}$ для інтервалу глибин 3261–3314 м свердловини № 110 змінюються від 3250 м/с до майже 4400 м/с, амплітуда їхньої зміни становить 1150 м/с. Це є значно меншим, ніж у попередніх двох розглянутих інтервалах (рис. 4, в). Окремо виділяється зразок № 110, значення V_p в якому є набагато меншим (змінюється від 2617 м/с до 3052 м/с), що проявилось, вірогідно, за рахунок літологічних і структурно-текстурних особливостей (збільшення у складі пісковика кількості глинистого та слюдиного матеріалу, збагачення однонаправленими лускатими зернами подовженої форми).

Загалом, за своїми пружними параметрами породи інтервалу більш витримані й характеризуються доволі плавною зміною V_p при збільшенні тиску та в умовах зняття напруги. Діапазон коливання $V_{p \text{ max}}$ за високих тисків становить 3750–4750 м/с, а при знятті напруги – 3450–4350 м/с. Зразків порід з різкими змінами швидкостей поздовжніх хвиль на відміну від попередніх інтервалів не виявлено.

На основі апріорних даних авторами розраховано температура і тиск, що присутні на глибинах відбору зразків свердловини № 110. За цими даними та за результатами досліджень зразків у різних баричних умовах розраховано значення швидкостей у пластових умовах ($V_{p \text{ пл}}$). Проведено порівняльний аналіз швидкостей поздовжніх хвиль, характерних для порід в атмосферних ($V_{p \text{ атм}}$) і пластових умовах ($V_{p \text{ пл}}$), побудовано тісну ($R^2 = 0,85$) кореляційну залежність розрахованих параметрів (рис. 5).

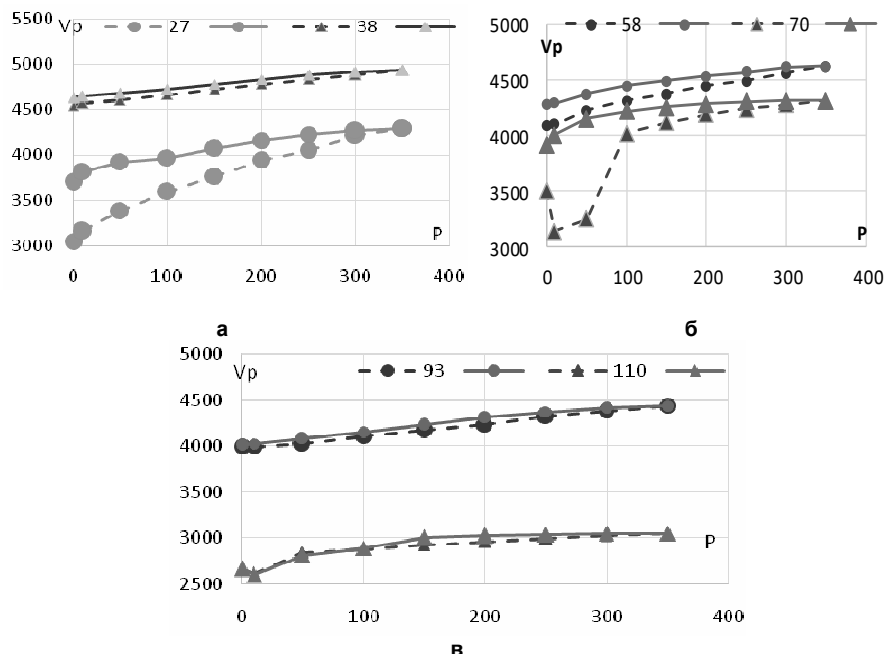


Рис. 4. Приклади зміни швидкостей поздовжніх хвиль вибірки зразків-пісковиків свердловини № 110 в умовах камери високого тиску для зразків інтервалів:

а – зразки № 27 та 38 (інтервал 3145–3158 м);

б – зразки № 58 та 70 (інтервал 3217–3228 м); в – зразки № 93 та 110 (інтервал 3261–3314 м)

Отримані результати можуть бути використані для математичного моделювання швидкостей поздовжніх хвиль та їхніх залежностей від пористості та густини по-

рід, характерних для порід в умовах природного залягання, інтерпретації даних геофізичних досліджень свердловин тощо.

Висновки Таким чином, авторами за допомогою установок "Керн-4" та високого тиску ВСЦ-1000 виконано дослідження швидкостей поздовжніх хвиль зразків порід свердловини № 110 Руновщинської площі, проведено аналіз отриманих даних і розраховано пластові значення швидкостей поздовжніх хвиль з метою адаптації

даних лабораторних петрофізичних досліджень до пластових умов.

За результатами петрофізичних досліджень в атмосферних умовах було виділено три вибірки порід-пісковиків, для яких було отримано тісні кореляційні залежності швидкостей пружних (переважно поздовжніх) хвиль від відкритої пористості та об'ємної густини.

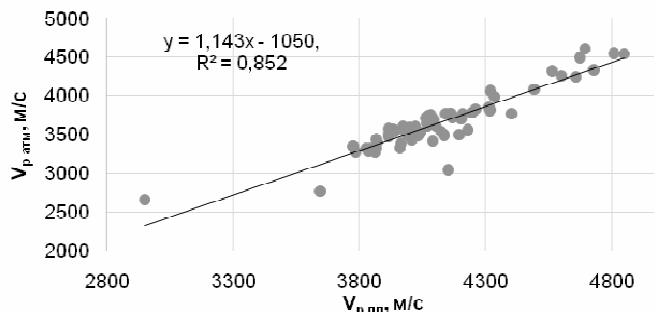


Рис. 5. Порівняльна характеристика швидкостей поздовжніх хвиль, характерних для порід в атмосферних і пластових умовах

При аналізі результатів акустичних досліджень в умовах змінних тисків для більшості зразків з досліджених інтервалів спостерігається поступове зростання швидкості поздовжньої хвилі зі збільшенням тиску до його максимального значення, за зворотного ходу – зменшення величини V_p за більш плавною траєкторією. Значення, що виміряні в атмосферних умовах, завжди менші за значення швидкості поздовжньої хвилі, отримані після зняття напруги, проте іноді спостерігаються досить відчутні коливання в їхній різниці, що можна пояснити різким (можливо, стрибкоподібним) закриттям мікротріщин у породі за збільшення тиску та їхнього уповільнене розкриття чи нерозкриття за його зменшення. Відповідні значення $V_{p \max}$, що відповідають умовам найвищого тиску, змінюються менш суттєво, їхній діапазон майже вдвічі менший, ніж для умов атмосферного тиску. Найбільш контрастні зміни в поведінці швидкостей поздовжньої хвилі характерні для окремих зразків (№ 27, 48, 50, 53/1), що, швидше за все, пояснюється характером закриття мікротріщин у породі можливо більшою кількістю тріщин порівняно з іншими зразками.

На основі апріорних даних і за результатами досліджень зразків за змінних тисків авторами розраховано значення швидкостей поздовжніх хвиль у пластових умовах, проведено їхній порівняльний аналіз зі швидкостями, характерними для порід в атмосферних умовах, побудовано тісну кореляційну залежність отриманих параметрів ($R^2 = 0,85$).

Для повного розуміння зміни акустичних властивостей в умовах природного залягання авторами планується вивчення їхньої структури пустотного простору та її зміни в зразках в умовах змінних тисків для окремих трьох виділених вибірок порід.

Список використаних джерел

- Баюк, І.О., Белобородов, Д.Е., Березина, І.А. та др. (2015). Сейсмоакустические исследования керна при пластовых условиях. *Технологии сейсморазведки*, 2, 36-45. doi:10.18303/1813-4254-2015-2-36-45
- Безродна, І.М. (2014). Оцінка структури пустотного простору карбонатних порід за результатами акустичних досліджень в умовах змінного тиску. *Науковий вісник НГУ*, 3, 21-25. Отримано з <http://nmv.nmu.org.ua/index.php/uk/component/jdownloads/finish/41-03/656-2014-3-bezrodna/0>
- Вижва, С., Шинкаренко, А., Безродна, І., Щуров, І., Гафич, І., Солодкий, Є. (2014). Вплив змінного тиску на акустичні та емнісні властивості теригенних порід-колекторів (на прикладі зразків семиренківської площі). *Вісник Київського національного університету. Геологія*, 76, 19-26. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.76.03>
- Вижва, С.А. та ін. (2014). Комплексні аналітичні лабораторні дослідження кернів із свердловин Руновщинської ділянки. *Науково-технічний звіт*. Корпорація "Науковий парк Київський університет імені Тараса Шевченка", Київ.

Орлов, Л.И., Топорков, В.Г., Жук, Е.Ф., Конькова, Л.В. (1981). Влияние термобарических условий на зависимости между интервальным временем, электрическим сопротивлением и пористостью пород нижнемеловых отложений Даулетабад-Донмезского месторождения. *Геология нефти и газа*, 9, 14-20.

Корчин, В. О., Буртний, П. О., Карнаухова, О. Є., Нех, О. С. (2010). Регіональні діагностичні петрофізичні особливості порід Антарктичного півострова (район станції Академік Вернадський). *Український антарктичний журнал*, 9, 23-31. Отримано з http://nbuv.gov.ua/UJRN/uazh_2010_9_4

Рябуха, В. В. (2007). Літолого-петрофізичні властивості теригенних порід-колекторів та їх вплив на геофізичні параметри (на прикладі родовищ нафти та газу центральної частини ДДЗ). Дис... канд. геол. наук: 04.00.22. Київський національний ун-т ім. Тараса Шевченка.

Федоришин, Д.Д., Гаранін, О.А., Федоришин, С.Д. (2014). Дослідження впливу хімічних реагентів, присутніх у фільтратах бурових розчинів, на електричні властивості гірських порід. *Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ*, 3(52), 72-78.

Johnston, D.H., Toksoz, M. N. (1980). Ultrasonic P and S Wave Attenuation in Dry and Saturated Rocks Under Pressure. *Journal of geophysical research*, 85, B2, 925-936.

Kern, H., Popp, T., Gorbatevich, F. et al. (2001). Pressure and temperature dependence of V_p and V_s in rocks from the superdeep well and from surface analogues at Kola and the nature of velocity anisotropy. *Tectonophysics*, 338, 113-134. doi: 10.1016/S0040-1951(01)00128-7

Pros, Z., Lokajicek, T., Klima, K. (1998). Laboratory Approach to the Study of Elastic Anisotropy on Rock Samples. *Pure and Applied Geophysics*, 151, 619-629. <https://doi.org/10.1007/s000240050133>

Yu, G., Vozoff, K., Durney, D. W. (1991). Technical Note Effects of Confining Pressure and Water Saturation on Ultrasonic Compressional Wave Velocities in Coals. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 28, 6, 515-522.

References

- Bayuk, I.O., Beloborodov, D.E., Berезина, I.A. et al. (2015). Elastic properties of core samples under confining pressure. *Tehnologii seysmorazvedki*, 2, 36-45. doi:10.18303/1813-4254-2015-2-36-45 [in Russian]
- Bezrodna, I.M. (2014). Evaluation of pore space structures of carbonate rocks by result of acoustic research under variable pressure. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 3, 21-25. [in Ukrainian]
- Fedorishin, D.D., Garanin, O.A., Fedoryshyn, S.D. (2014) Investigation of the influence of chemical reagents present in the filtrate of drilling fluids on the electrical properties of rocks. *Exploration and development of oil and gas fields*, 3, 72-78. [in Ukrainian].
- Johnston, D.H., Toksoz, M. N. (1980). Ultrasonic P and S Wave Attenuation in Dry and Saturated Rocks Under Pressure. *Journal of geophysical research*, 85, 925-936.
- Kern, H., Popp, T., Gorbatevich, F. et al. (2001). Pressure and temperature dependence of V_p and V_s in rocks from the superdeep well and from surface analogues at Kola and the nature of velocity anisotropy. *Tectonophysics*, 338, 113-134. doi: 10.1016/S0040-1951(01)00128-7
- Korchin, V.A., Burtny, P.A., Karnaukhova, E.E., Nech, A.S. (2010). Regional diagnostic petrophysical features of the Antarctic peninsula breeds (near the station "Akademik Vernadsky"). *Ukrainian Antarctic Journal*, 9, 23-31. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/uazh_2010_9_4 [in Ukrainian]
- Orlov, L.I., Toporkov, V.G., Zhuk, E.F., Konkova, L.V. (1981). The influence of thermobaric conditions upon relationship between interval time, electric resistance and porosity of Lower Cretaceous rocks in the Dauletabad-Donmez field. *Geology of oil and gas*, 8, 14-20 [in Russian]

Pros, Z., Lokajicek, T., Klima, K. (1998). Laboratory Approach to the Study of Elastic Anisotropy on Rock Samples. *Pure and Applied Geophysics*, 151, 619–629. <https://doi.org/10.1007/s000240050133>

Ryabuha, V. (2007). Litho-petrophysical properties of terrigenous reservoirs and their influence on geophysical parameters (for example, oil and gas fields of the central part of the DDZ). Dis. ... cand. geol. sciences: 04.00.22. Kyiv National Taras Shevchenko University. [in Ukrainian]

Vyzhva, S. et al. (2017). Complex analytical laboratory researches of core samples of Runovshchynska area wells. *Science report*. Science Park Kyiv Taras Shevchenko University, Kyiv. [in Ukrainian]

Vyzhva, S., Shynkarenko, A., Bezrodna, I. et al. (2017). Influence of variable pressure on acoustic and Volumetric properties of terrigenous reservoir rocks (on the example of Semyrenkivska area samples). *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 76, 19–26. <http://doi.org/10.17721/1728-2713.76.03>. [in Ukrainian]

Yu, G., Vozoff, K., Durney, D. W. (1991). Technical Note Effects of Confining Pressure and Water Saturation on Ultrasonic Compressional Wave Velocities in Coals. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.*, 28, 6, 515–522.

Надійшла до редколегії 27.04.19

I. Bezrodna, Cand. Sci. (Geol), Senior Researcher;
S. Vyzhva, Dr. Sci. (Geol.), Prof.
Taras Shevchenko National University of Kyiv,
Institute of Geology, 90, Vasylykivska Str., Kyiv, 03022, Ukraine

ANALYSIS OF ACOUSTIC PROPERTIES OF RESERVOIR ROCKS FROM RUNOVSHCHYNSKA FIELD ON THE BASIS OF PETROPHYSICAL STUDIES IN VARIOUS PRESSURE CONDITIONS

The results of rock physics study of 68 core samples from well No. 110 of the Runovshchynska field of the Dnipro-Donets depression in Ukraine are presented. Investigation of the P-waves on samples under different pressure conditions with the use of 'Kern-4' and high pressure VSC-1000 was performed. Analysis of the obtained data and calculated reservoir values of P-waves was performed.

The character of the change in velocity of P- and S-waves for atmospheric conditions is considered. It is shown that the predominant amount of water saturated samples has a velocity of P-waves 3200–3500 m/s (dry samples 2100–2550 m/s), and the S-wave velocity for saturated samples is 2100–2550 m/s (dry specimens 1400–1500 m/s).

For a collection of samples, which were measured in atmospheric conditions, the correlation dependence between velocities of P-waves and their density with a close correlation was established.

Correlation dependences between elastic wave velocities and the connected porosity of saturated samples were investigated. The dependences of type $V_p = f(K_p)$ with high correlation coefficient for three separate picks of the homotypic sandstones were established.

During the analysis of the acoustic studies results under conditions of variable pressure for the majority of samples from the studied intervals, the authors obtained the following common factors. The values of the P-wave velocity, measured in atmospheric conditions, are always smaller than the values obtained after the removal of the pressure; however, there are sometimes quite noticeable fluctuations in their difference, which can be explained by a sharp (possibly hopping) closure of microcracks in the rock with increasing pressure and their delayed opening or non-disclosure when it is reduced. The most contrasting changes in the behavior of the P-wave velocities are characteristic for several samples (Nos. 27, 48, 50, 53/1), which is most likely due to the void space structure in the rocks, possibly with an increased number of microcracks compared with other samples.

On the basis of a priori data and the results of researches of samples at variable pressures, the authors calculated the P-wave velocities in reservoir conditions, conducted their comparative analysis with velocities that are characteristic for samples in atmospheric conditions, built a tight ($R^2 = 0,85$) correlation dependence of the investigated parameters.

Keywords: rock physics study, conditions of variable pressures, Runovshchynska field.

И. Безродная, канд. геол. наук, ст. науч. сотр.;
С. Выжва, д-р геол. наук, проф.
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

АНАЛИЗ АКУСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ РУНОВЩИНСЬКОЇ ПЛОЩАДИ НА ОСНОВЕ ПЕТРОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЗНЫХ БАРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Представлены результаты петроакустичних досліджень 68 образцов керна пород скважини № 110 Рунувщинської площини Дніпро-Донецької впадини України. Дослідження швидкостей продольних волн образцов виконано при перемінних тисках з допомогою установок: "Керн-4" і високого тиску ВСЦ-1000. Проведен аналіз отриманих даних і розраховані пластові значення швидкостей продольних волн.

Розглянуто характер зміни швидкостей продольних і поперечних волн для атмосферних умов вимірювання. Показано, що подавляюче количество насичених мінералізованою водою образцов мають швидкість продольної хвилі 3200–3500 м/с (для сухих образцов – 2100–2550 м/с), а швидкість поперечної хвилі для насичених образцов становить 2100–2550 м/с (для сухих образцов – 1400–1500 м/с).

Для колекції образцов, виміряних в атмосферних умовах, встановлена кореляційна залежність швидкостей продольних волн від їх щільності з тісною кореляцією.

Досліджені кореляційні зв'язки швидкостей упругих волн і відкритої пористості насичених образцов. Встановлені залежності $V_p = f(K_p)$ для трьох окремих виборок однотипних по складу піщаників.

При аналізі результатів акустических досліджень в умовах перемінних тисків для більшості образцов з досліджуваних інтервалів авторами встановлені наступні закономірності. Значення V_p , виміряні в атмосферних умовах, завжди менше швидкостей, які отримані після зняття напруження; однак іноді спостерігаються досить помітні коливання в їх різниці, що можна пояснити різким (возможно, скачкообразним) закриттям мікротрещин в породі при збільшенні тиску і їх повільним відкриттям або нерозкриттям при його зменшенні. Найбільш контрастні зміни в поведінці швидкостей продольної хвилі характерні для окремих образцов (№ 27, 48, 50, 53/1), що, скоріе всього, пояснюється характером структури пористої породи, можливо, збільшеним количеством мікротрещин по порівнянню з іншими зразками.

На основі апріорних даних і по результатах досліджень образцов при перемінних тисках авторами розраховані значення швидкостей продольних волн в пластових умовах, проведено їх порівняльний аналіз зі швидкостями, які характерні для породи в атмосферних умовах, отримана тісна кореляційна залежність ($R^2 = 0,85$) досліджуваних параметрів.

Ключеві слова: петроакустическі дослідження, умови перемінних тисків, Рунувщинська площа.