

550.832.4(043)
Ф 91

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ**

**ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ**

ФРОЛОВА СВІТЛАНА ЄВГЕНІВНА

УДК 550.832.4(043)
Ф 91

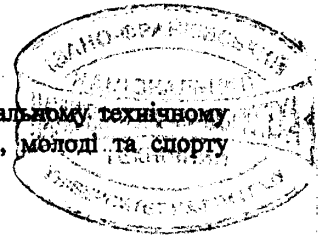
**МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВИКОРИСТАННЯ ІНФОРМАТИВНОГО СИГНАЛУ ХВИЛЬОВОГО
АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ**

Спеціальність 04.00.22 — Геофізика

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата геологічних наук

Івано-Франківськ — 2011

Дисертацією є рукопис.



Дисертація виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник:

- кандидат геологічних наук Кашуба Григорій Олексійович, головний геолог ЗАТ «Укрпромгеофізика»

Офіційні опоненти:

- доктор геологічних наук, професор Карпенко Олексій Миколайович, завідувач кафедри геології нафти і газу Київського національного університету імені Тараса Шевченка;

- кандидат геолого-мінералогічних наук, старший науковий співробітник Куровець Ігор Михайлович, завідувач відділу проблем нафтової геофізики Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України.

Захист дисертації відбудеться 10 червня 2011 р. об 11⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради К 20.052.01 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України (вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019).

Автореферат розісланий 15 квітня 2011р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат геолого-мінералогічних наук

Г.О.Жученко

АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

an2174

ть теми. Однією з найважливіших проблем України є її недостатня енергозабезпеченість, перш за все з власних природних ресурсів. Тому національною програмою "Стратегія розвитку енергетичного комплексу України до 2030 року" передбачено нарощування розвіданих запасів і видобутку вуглеводнів за рахунок збільшення обсягів і підвищення якості геологорозвідувальних робіт, у тому числі геофізичних досліджень свердловин (ГДС). Хвильовий акустичний каротаж (АК) є одним з методом ГДС, потенційні можливості якого вивчені недостатньо та використовуються неповною мірою. Тому цей метод є резервом підвищення ефективності ГДС та комплексної інтерпретації даних сейсмічної розвідки.

Хвильовий АК і сейсморозвідка в якості інструменту дослідження геологічного середовища використовують пружні хвилі, утворення та розповсюдження яких підлягають єдиним фізичним законам, що дає можливість використовувати єдині або близькі прийоми вирішення геологічних завдань. Тому актуальним є застосування вже існуючого математичного апарату обробки-інтерпретації даних сейсморозвідки для розв'язку структурних задач і відтворення геогустинного розподілу середовища за даними хвильового АК.

При геофізичних дослідженнях нафтогазових свердловин з метою оцінки емнісних параметрів порід-колекторів актуальною є задача визначення пористості теригенних колекторів різного ступеня глинистості за даними хвильового АК, особливо на етапі оперативної інтерпретації даних ГДС. Також оцінка характеру насичення колекторів за даними хвильового АК теоретично обґрунтована, але через ряд причин й досі не знайшла широкого практичного застосування. У міру розвитку апаратури у вітчизняній геофізиці використання багатозондових приладів акустичного каротажу дає можливість перегляду інтерпретаційних можливостей хвильового АК для визначення типу флюїду в поровому просторі колектора.

Дана робота спрямована на розширення кола задач, які вирішуються за допомогою хвильового акустичного каротажу, та на подальший пошук шляхів розв'язку існуючих геолого-геофізичних задач.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Проведені автором дослідження є складовими частинами таких програм: держбюджетної науково-дослідної теми інституту нафтогазових технологій ІФНТУНГ Д-3-01Ф "Геодинамічні умови формування рудонафтогазоносності Карпатського регіону" (ДР № 0101U001663); плану геолого-тематичних робіт НАК "Нафтогаз України" (повідомлення № 61171 ДНВП Геоінформ України); договірної тематичної роботи "Визначення пріоритетних нафтогазо-перспективних площ та об'єктів у межах північних

an 2173- an 2174

окраїн Донбасу, перспектив нафтогазоносності перехідних та мілководних зон півдня України та розробка технології комплексування нових геофізичних методів дослідження свердловин та сейсморозвідки” (Договір між НАК „Нафтогаз України” і ЗАТ „Концерн Надра” за № 4-НДР-07).

Тема дисертаційної роботи тісно пов'язана з планами робіт ДК “Укргазвидобування”, ВАТ “Укрнафта”, ЗАТ “Укрпромгеофізика”.

Метою роботи є підвищення ефективності геолого-геофізичних робіт шляхом розширення інтерпретаційних можливостей хвильового акустичного каротажу.

Для досягнення цієї мети потрібно вирішити такі задачі:

- проаналізувати основні проблеми, що виникають під час визначення пористості теригенних порід-колекторів різного ступеня глинистості, оцінки характеру насичення колекторів і параметричного забезпечення сейсморозвідки за даними АК;

- вдосконалити методику визначення кутів нахилу границь відбиття за даними фазокореляційних діаграм АК;

- розробити спосіб визначення густини гірських порід на основі використання кінематичних і динамічних параметрів акустичного сигналу;

- встановити залежність між відносною амплітудою ПС ($\alpha_{ПС}$) і подвійним різницеvim параметром ГК (ΔJ_{γ}) для теригенних порід-колекторів родовищ Північного борту ДДЗ і розробити алгоритм визначення поправки за глинистість на основі використання параметра ГК (ΔJ_{γ}) для оцінки коефіцієнта пористості колекторів на етапі оперативної інтерпретації даних АК;

- провести аналіз інформативності акустичного сигналу для оцінки характеру насичення колекторів, здійснити пошук додаткових інформативних параметрів сигналу АК та розробити підходи оцінки характеру насичення за даними багатозондового АК.

Об'єкт дослідження – геологічні розрізи, представлені результатами геофізичних досліджень у свердловинах.

Предмет дослідження – акустичні сигнали, отримані при проведенні акустичного каротажу, їх кінематичні та динамічні параметри.

Методи дослідження – теоретичне моделювання, експериментальні свердловинні акустичні дослідження, алгоритми повнохвильового моделювання, математична та статистична обробка даних.

Фактичні матеріали, використані в роботі:

- фондові та опубліковані геолого-геофізичні матеріали з геофізичних досліджень свердловин на родовищах Передкарпатського прогину та Дніпровсько-Донецької западини;

- хвильові картини, отримані ЗАТ “Укрпромгеофізика” та Івано-

Франківською експедицією геофізичних досліджень у свердловинах (ІФЕГДС) у ході проведення акустичного каротажу на родовищах ДДЗ та Передкарпатського прогину;

- визначені на керованому матеріалі дані про фільтраційно-ємнісні параметри пластів-колекторів, надані філією ДК “Укргазвидобування” УкрНДІГаз.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що:

- отримано нове рівняння для визначення кута нахилу границі відбиття за даними хвильового акустичного каротажу на основі застосування гіперболічної форми годографа відбитої хвилі;

- уперше теоретично обґрунтовано можливість визначення густини середовища на основі сумісної інтерпретації кінематичних і динамічних параметрів поздовжньої хвилі акустичного каротажу;

- встановлено обернено пропорційну залежність між відносною амплітудою ПС ($\alpha_{ПС}$) і подвійним різницеvim параметром ГК (ΔJ_r) для теригенних порід-колекторів родовищ Північного борту ДДЗ і отримано нове співвідношення для визначення коефіцієнта пористості за даними АК з врахуванням глинистості порід;

- запропоновано використовувати залежність амплітуди поздовжньої хвилі від довжини зонда для визначення характеру насичення порід за даними багатозондового АК.

Практичне значення отриманих результатів. Використання розроблених методологічних підходів до інтерпретації даних хвильового акустичного каротажу дає можливість підвищити ефективність геолого-геофізичних робіт. Створене програмне забезпечення структурної інтерпретації хвильових картин АК сприятиме оперативному отриманню важливої геологічної інформації про будову наврокоствердловинного простору. Результати обробки даних хвильового АК за цією програмою використовувалися Івано-Франківською експедицією геофізичних досліджень свердловин з метою визначення кутів нахилу границь відбиття. ЗАТ “Укрпромгеофізика” на етапі оперативної інтерпретації використовує розроблені алгоритми визначення пористості теригенних порід-колекторів з урахуванням поправки за глинистість на основі використання подвійного різницевого параметра гамма-каротажу та оцінки характеру насичення за даними амплітуди (A_0) поздовжньої хвилі багатозондового АК.

Особистий внесок здобувача. Особисто здобувачем теоретично обґрунтовані та розроблені підходи визначення ємнісних, структурних параметрів розрізу та геогустинного розподілу середовища. Реалізація цих ідей, розробка алгоритмів, тестування на модельних прикладах та фактичному матеріалі, обробка, інтерпретація та аналіз отриманих результатів були проведені автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися на 6-ій Міжнародній науково-практичній конференції “Нафта і газ України – 2000” (Івано-Франківськ, 31 жовтня – 3 листопада 2000), П’ятому Міжнародному науковому симпозиумі ім. ак. М.А.Усова “Проблеми геології и освоєння недр” (Томск, Росія, 9–13 квітня 2001), Карпатській нафтовій конференції (Wysowa, Польща, 27–30 червня 2001), Міжнародній науково-практичній конференції “Нафтогазова геофізика – стан та перспективи” (Івано-Франківськ, 25–29 травня 2009), ІХ Міжнародній науковій конференції “Моніторинг геологічних процесів” (Київ, 14–17 жовтня 2009).

Публікації. За темою дисертаційної роботи опубліковано 10 праць, з яких 4 статті у фахових виданнях, рекомендованих ВАК України, та 6 тез доповідей на науково-практичних конференціях. Основні результати дисертаційної роботи подано у 4 одноосібних і 6 публікаціях у співавторстві.

Обсяг і структура роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Робота викладена на 120 сторінках, ілюстрована 36 рисунками, містить 3 таблиці та 4 текстових додатки. Список використаних джерел складає 131 найменування.

Автор висловлює щирю подяку науковому керівнику кандидату геологічних наук Кашубі Григорію Олексійовичу, який був ініціатором основних досліджень, без постійної діяльної участі якого виконання даної роботи не було б можливим. Автор вдячний першому вчителю кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту Ю.В.Філатову за увагу та вагому допомогу під час роботи над дисертацією. За підтримку, поради, зауваження при виконанні дисертаційної роботи автор дякує кандидату геолого-мінералогічних наук, професору В.П.Степанюку, кандидаткам технічних наук Р.Ф.Федоріву, доценту Н.С.Ганженко та кандидату геолого-мінералогічних наук, доценту В.А.Старостіну.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

СУЧАСНИЙ СТАН ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ НАФТОГАЗОПОШУКОВИХ ЗАВДАНЬ

Акустичний каротаж застосовується у практиці ГДС впродовж десятиліть та є одним із провідних методів для розв’язку геолого-геофізичних задач. Найбільший вклад у розвиток акустичного каротажу внесли Будико Л.В., Вербицкий Т.З., Дзєбань І.П., Добринін В.М., Івакін

Б.М., Карус Є.В., Кашуба Г.О., Колісніченко В.Г., Козяр В.Ф., Кузнецов О.Л., Лещук В.В., Логінов І.В., Ніколаєвський В.Н., Петкевич Г.І., Рабинович Г.Я., Усенко Ю.М., Федорів Р.Ф., Філатов Ю.В. та ін. Результати їхніх досліджень стали базою для вдосконалення та проведення нових розробок апаратури та методик акустичного каротажу.

Аналіз наукових джерел засвідчив, що незважаючи на широке висвітлення питань визначення коефіцієнта пористості та ідентифікації типу флюїду в поровому просторі колекторів, є ряд випадків, коли існуючі способи визначення ємнісних властивостей гірських порід виявляються малоефективними, особливо на етапі оперативної інтерпретації геофізичної інформації.

Досвід робіт визначення пористості теригених колекторів з врахуванням глинистості шляхом введення поправки за даними потенціалів самочинної поляризації (ПС), запропонованої Schlumberger (1975), показує досить точні результати використання такого способу, окрім випадків, коли роздільна здатність ПС є неприйнятною для використання. На даний час немає загальноприйнятої поправки врахування глинистості за даними гамма-каротажу (ГК) для визначення пористості колекторів за матеріалами АК на етапі оперативної інтерпретації даних.

Визначення типу флюїду в поровому просторі порід-колекторів є задачею промислової геофізики, яку переважно розв'язують шляхом комплексного аналізу методів ГДС. У даному випадку найбільш інформативними є методи електричного опору, але через наявність низькоомних колекторів та відсутність відомостей про мінералізацію пластових вод їх використання не завжди ефективне. Ще одним вагомим негативним фактором для оцінки насичення є наявність у колекторах прісних пластових вод. За даними АК визначення типу флюїду теоретично обґрунтовано, але через ряд причин не знайшло широкого практичного застосування.

У науковій літературі також багато уваги приділяється комплексній інтерпретації даних сейсмозрозвідки та ГДС і наголошується на необхідності залучення великої кількості апріорної інформації про будову та фізичні властивості середовища для перерахунку сейсмічних даних в параметри, які необхідні для здійснення прогнозу геологічного розрізу. Для отримання апріорних даних необхідно проводити хвильовий АК, густинний гамма-гамма-каротаж (ГГК-Г) і пластову нахилометрію. На жаль, у даний час з різних причин згадані методи свердловинних досліджень, особливо ГГК-Г і пластова нахилометрія, використовуються в обмеженому обсязі та частіше в різних свердловинах. Безперечно, це знижує ефективність застосування цих методів для параметричного забезпечення сейсмозрозвідки. Параметри, необхідні для забезпечення сейсмозрозвідки, можна отримати з хвильового

поля АК, яке містить у собі інформацію про будову та властивості геологічного розрізу.

ІНТЕРПРЕТАЦІЯ МАТЕРІАЛІВ ХВИЛЬОВОГО АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ З МЕТОЮ ВИЗНАЧЕННЯ КУТА НАХИЛУ ГРАНИЦЬ ВІДБИТТЯ

Визначення кутів нахилу геологічних границь у рудних свердловинах за фазокореляційними діаграмами АК було запропоновано Г.Я. Рабиновичем (1971), який для розрахунку кута нахилу площадок відбиття використовував годограф відбитої хвилі, представляючи його у вигляді прямої. Є.Й.Гальперін (1971) рівняння годографа відбитої хвилі вертикального сейсмічного профілювання (ВСП) при нахиленому заляганні границь подав у вигляді гіперболи. Розходження підходів різних дослідників до розв'язку однієї задачі спорідненими за фізичною основою методами АК і ВСП спонукали нас до поглибленого вивчення цього питання. Тому насамперед ми вивели рівняння годографа відбитої хвилі, яка реєструється при АК:

$t(z) = 2t_{cs} + \frac{1}{V} \sqrt{4(L+z)^2 \cos^2 \varphi - 4(L+z)L \cos^2 \varphi + L^2}$, де t_{cs} – час пробігу пружної хвилі в стовбурі свердловини (в обсадженої свердловині – це час пробігу хвилі через колону, цементне кільце, буровий розчин); V – швидкість розповсюдження пружної хвилі в середовищі; φ – кут нахилу відбиваючої границі; L – довжина зонда. Отримане рівняння свідчить про гіперболічну форму годографа, кривизна якого збільшується при збільшенні кута нахилу границь відбиття.

За рівних значень довжини зонда та відстані від границі пласта до приймача ($z=L$) рівняння годографа відбитої хвилі значно спрощується. Тоді кут нахилу границі відбиття φ визначається рівнянням

$\varphi = \arccos \sqrt{\frac{V^2(t(L) - 2t_{cs})^2 - L^2}{8L^2}}$. На основі нового рівняння нами запропоновано

алгоритм визначення кута нахилу границь відбиття. Також проведено порівняльний аналіз описаного підходу та запропонованого Г.Я.Рабиновичем. Виявлено, що для границь, які залягають під невеликими кутами (до 10°), вибір одного із способів несуттєво впливатиме на кінцевий результат визначення їхнього нахилу. Проте для визначення нахилу границь, які залягають під кутами більшими, ніж 10° , вибір підходу визначення структурних параметрів границь відбиття на користь запропонованого знизить похибку в оцінці кутів на 10-20% відн.

На основі розробленого алгоритму створено програму обробки матеріалів хвильового акустичного каротажу.

Для перевірки ефективності запропонованого алгоритму інтерпретації хвильових картин нами були опрацьовані результати хвильового АК, проведеного в свердловинах Передкарпатського прогину, ДДЗ, шельфу Чорного моря. Визначені кути нахилу пластів добре узгоджуються зі структурними побудовами за даними сейсморозвідки, міжсвердловинної кореляції та підтверджуються результатами пластової нахилометрії.

ВІДНОВЛЕННЯ ГЕОГУСТИННОГО РОЗПОДІЛУ СЕРЕДОВИЩА ЗА ДАНИМИ АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ

Під час проведення акустичного каротажу реєструються хвилі, які проходять через границі. Тобто відмінність амплітудних характеристик хвилі, зареєстрованої над границею та під нею, після врахування ефектів затухання свідчить про величину коефіцієнта проходження хвилі через границю. У свою чергу коефіцієнт проходження пов'язаний з акустичними жорсткостями середовищ, що дає можливість перейти від послідовності коефіцієнтів проходження до розподілу акустичних жорсткостей (за аналогією псевдоакустичного каротажу, Г.М.Гогоненков, 1987) і на завершальному етапі отримати розподіл густин.

Запропонований нами підхід відтворення геогустинного розподілу спочатку реалізовувався за допомогою моделювання синтетичних хвильграм у пакеті повнохвильового моделювання Tesserall 2-D: на першому етапі (пряма задача) було створено двовимірну модель розрізу із заданими значеннями швидкості поздовжньої хвилі та густини середовища для кожного із шарів, далі розраховувалися синтетичні хвильграми АК. Наступний етап включав обробку отриманих синтетичних хвильових картин АК: визначалися часи вступу й амплітуди поздовжньої хвилі для різних положень зонда відносно границь моделі. На заключному етапі (обернена задача) розраховувалися коефіцієнти затухання, значення швидкості розповсюдження поздовжньої хвилі в пластах та коефіцієнти проходження хвилі через границі між шарами. Для рекурентного відтворення густинного розподілу всієї моделі в якості початкового значення густини задавалося апріорне значення густини в першому шарі. Результат рішення оберненої задачі (відновлений густинний розподіл всієї моделі) зіставлявся з вихідними даними. Несуттєва розбіжність модельних і розрахованих даних свідчить про дієвість запропонованого способу.

Критерієм достовірності визначення густини за даними акустичного каротажу можуть слугувати значення густини гірських порід, отримані при дослідженні кернового матеріалу або результати ГГК-Г. Тому за описаним

алгоритмом нами оброблялися реальні матеріали АК, отримані у тих свердловинах, де одночасно робилися заміри методом ГТК-Г. У цілому спостерігається ідентичність характеру зміни кривих густини за розрізом свердловини (збереження тренду), отриманих за результатами обробки обох методів. Тренди осереднених даних густини практично накладаються, а максимальне відносне відхилення тренду кривої густини за даними АК від тренду за даними ГТК-Г не перевищує 4%.

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ВІДКРИТОЇ ПОРИСТОСТІ З ВРАХУВАННЯМ ГЛИНИСТОСТІ ТЕРИГЕННИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ ЗА МАТЕРІАЛАМИ АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ

Теригенні колектори різного ступеня глинистості є широким полем досліджень для фахівців нафтогазової геофізики. У своїй роботі ми обмежилися дослідженням теригенних колекторів з дисперсною глинистістю з метою її врахування для визначення коефіцієнта відкритої пористості (K_n) за даними акустичного каротажу. Для знаходження оптимального оперативного способу врахування глинистості для визначення коефіцієнта пористості за даними АК ми проаналізували вже відомі підходи до вирішення цього питання. У результаті чого з'ясували, що на етапі оперативної інтерпретації здебільшого користуються відомою поправкою за даними методу ПС (який не є універсальним, оскільки обмежений у застосуванні). Інші підходи (наприклад, з використанням параметра ГК) вимагають залучення апріорної інформації та проведення додаткових досліджень.

Для спрощення поправки за глинистість за даними ГК ми проаналізували петрофізичні засади врахування глинистості за методами ПС і ГК. У результаті чого встановлено, що для родовищ Північного борту ДДЗ зв'язок між параметрами методів ПС ($\alpha_{ПС}$) і ГК (ΔI_γ), визначеними напроти теригенних колекторів, обернено пропорційний. Результати зіставлення параметрів цих методів дають підстави стверджувати, що $\alpha_{ПС} + \Delta I_\gamma \approx 1$. Отже, отримуємо досить просте розширення рівняння середнього часу для врахування глинистості колекторів $k_n = \frac{\Delta t_p - \Delta t_{ск}}{\Delta t_\phi - \Delta t_{ск}} \cdot \frac{1}{1 + \Delta I_\gamma}$.

Ефективність запропонованого нами спрощеного алгоритму введення поправки за глинистість на основі використання даних ГК перевірено на результатах дослідження свердловин родовищ Північного борту ДДЗ. Коефіцієнти пористості для відкладів серпуківського та візейського ярусів

нижнього карбону, московського та башкирського ярусів середнього карбону цих родовищ визначалися на керновому матеріалі, за петрофізичними зв'язками, за рівняннями середнього часу, з врахуванням існуючих поправки за методами ПС і ГК та із запропонованою поправкою. Коефіцієнти пористості, визначені в лабораторних умовах на зразках керну, приймалися нами як істинні, з якими зіставлялися значення K_n , отримані іншими способами. У результаті статистичної обробки отриманих залежностей числові характеристики розподілу коефіцієнтів пористості, визначених перерахованими способами, близькі до характеристик розподілу K_n за даними досліджень керового матеріалу, окрім отриманих за даними комплексу методів АК і ПС, для яких ці характеристики є завищеними. Про тісний кореляційний зв'язок між величинами пористості, визначеної за керовим матеріалом та за запропонованим підходом, свідчить високий коефіцієнт детермінації рівняння регресії ($R^2=0,8927$).

ОЦІНКА ХАРАКТЕРУ НАСИЧЕННЯ КОЛЕКТОРІВ ЗА ДАНИМИ АМПЛІТУДИ ПОЗДОВЖНЬОЇ ХВИЛІ БАГАТОЗОНДОВОГО АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ

Усі теоретичні розрахунки та результати лабораторних експериментів у свій час давали надію на високу ефективність застосування АК (особливо динамічних параметрів акустичного сигналу) при дослідженні нафтових і газових родовищ. Проте результати досліджень у необсаджених свердловинах апаратурою СПАК-2 поставили під сумнів можливість розділення водоносних і продуктивних пластів за акустичними параметрами. Відсутність різниці в показах на кривих інтервального часу, амплітуд і коефіцієнтів затухання в інтервалах різного насичення пласта пояснювалася високочастотністю (а отже, малим радіусом досліджень) апаратури.

З розвитком у вітчизняній геофізиці апаратури АК з'являється можливість реалізовувати метод багатозондового хвильового акустичного каротажу, зокрема за допомогою апаратурно-програмного комплексу АМАК-2, який є приладом 16-зондового АК. З метою оцінки можливостей використання динамічних параметрів хвильового поля щодо визначення характеру насичення порід-колекторів нами проведено окремі дослідження акустичних сигналів, зареєстровані апаратурою АМАК-2. Як інформативний параметр використані амплітуди поздовжньої хвилі, отримані від різноглибинних зондів. Слід відзначити, що дослідження проводилося на частоті 12 кГц, довжина першого зонда складала 1,5 м, останнього (шістнадцятого) – 3,0 м. Така частотність випромінюваного сигналу та

розміри зондів дають можливість збільшити радіус досліджень і зареєструвати сигнали, які охопили менш змінену або незмінену частину пласта за зоною проникнення фільтрату промивної рідини.

На значення амплітуди поздовжньої хвилі акустичного сигналу, зареєстровані різними зондами багатозондового АК, чинять вплив пористість, глинистість, характер насичення тощо. Для визначення, які з цих чинників найсуттєвіше впливають на зміни амплітуди поздовжньої хвилі, ми побудували залежності амплітуд поздовжньої хвилі від довжини зонда для порід-колекторів різної пористості, глинистості та характеру насичення. Для цього систематизували згадані залежності по групах, де один з чинників був змінним, а два інших – стали. У результаті зіставлень залежностей нами зроблено висновок, що для пластів однакового літологічного складу, близьких значень коефіцієнтів пористості та глинистості найбільший вплив на величини амплітуд поздовжньої хвилі здійснює тип флюїду. Тому ми спрямували наші подальші дослідження на визначення характеру насичення колекторів за амплітудними характеристиками поздовжньої хвилі багатозондового АК.

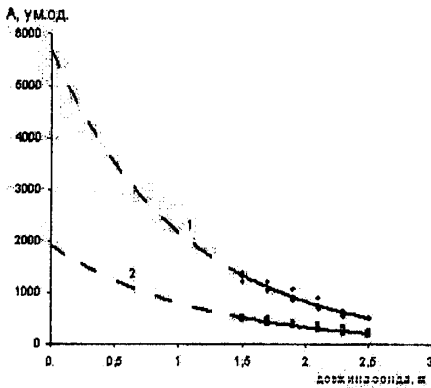


Рис. 1. Визначення амплітуди A_0 поздовжньої хвилі при довжині зонда $L \rightarrow 0$ (для водонасичених (1) та газонасичених (2) колекторів)

Якщо побудувати амплітудні характеристики поздовжньої хвилі, які реєструють приймачі приладу АМАК-2, та продовжити лінії тренду експоненціальної залежності амплітуди поздовжньої хвилі від розміру зонда навпроти водонасичених (1) і газонасичених (2) колекторів до нуля, то ми отримаємо параметр A_0 – амплітуду поздовжньої хвилі при довжині зонда $L \rightarrow 0$, яка буде суттєво відрізнятися для водонасичених та газонасичених колекторів (рис. 1).

На основі такого поділу нами розроблено спеціальний алгоритм обробки результатів динамічних параметрів акустичного каротажу (амплітуд поздовжніх пружних хвиль) з метою визначення параметра A_0

$$A_0 = \frac{A_i^2}{A_j} \exp\left(\frac{l_j}{l_j - l_i}\right)$$
, де A_i, A_j – амплітуди поздовжньої хвилі i -го та j -го каналів; l_i, l_j – віддаль від випромінювача до i -го та j -го приймачів.

З метою апробації запропонованого підходу нами були опрацьовані результати свердловинних досліджень: на зведених діаграмах за результатами інтерпретації комплексу методів ГДС виділялися інтервали колекторів, у межах виділених пластів проводився аналіз розрахованої кривої A_0 з метою визначення продуктивних інтервалів (низькі значення – продукт, високі – вода). За величиною даного параметра досить добре розділяються продуктивні та водоносні колектори, які виділені за матеріалами повного комплексу ГДС та підтверджені результатами випробувань.

Суттєвою перевагою оцінки характеру насичення за даними параметра A_0 над методами питомого електричного опору, які є основними при вирішенні цієї задачі, є незалежність результатів від мінералізації пластових вод, наявності високопровідних мінералів у скелеті породи тощо. Виходячи з цього, такий підхід підвищить ефективність інтерпретаційних робіт, особливо при наявності низькоомних колекторів та таких, які насичені прісними водами. Обмеженням до застосування параметра A_0 є випадки, коли порушуються умови гетерогенного середовища, наявні колектори з вторинною пористістю (тріщинуваті, кавернозні) та наявні сильно промиті зони проникнення фільтрату бурового розчину (немає залишкового газонасичення порового простору колектора), обсаджені свердловини.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі науково обґрунтовано методологічні підходи збільшення ефективності використання хвильового акустичного сигналу з метою підвищення інформативності акустичного каротажу.

Найважливіші наукові та практичні результати дисертаційної роботи:

1) У результаті проведеного аналізу наукових джерел встановлено:

- визначення кута нахилу границь відбиття за даними АК потребує додаткових досліджень у зв'язку із суперечливістю підходів щодо уявлення про форму годографа відбитих хвиль;

- для комплексної інтерпретації даних сейсмозвідки і ГДС одним із основних апріорних параметрів є значення густини середовища. Основний метод визначення цього параметра – ГТК-Г – проводиться у практиці ГДС у поодиноких свердловинах, тому необхідні дослідження щодо визначення густини гірських порід за даними інших методів ГДС;

- основні проблеми, що виникають на етапі оперативної інтерпретації при визначенні пористості теригенних порід-колекторів з врахуванням глинистості, за комплексом (АК+ПС) полягають у відсутності методу ПС (в обсаджених свердловинах) або його нечіткої диференціації розрізу, а за

комплексом (АК+ГК) – у необхідності встановлювати емпіричні залежності між параметром ГК і коефіцієнтом глинистості;

- існуючі способи визначення характеру насичення колекторів за даними АК не знаходять практичного застосування через невисоку ефективність або необхідність використання апріорної інформації.

2) Удосконалено методику визначення кутів нахилу границь відбиття за даними фазокореляційних діаграм хвильового АК:

- проведені дослідження підтвердили, що годограф відбитої хвилі має гіперболічну форму;

- отримано нове рівняння для визначення кута нахилу границь відбиття;

- ефективність запропонованого підходу підтверджено результатами пластової нахилометрії та структурними побудовами.

3) Розроблено спосіб визначення густини гірських порід на основі використання кінематичних і динамічних параметрів акустичного сигналу:

- застосування ідеї псевдоакустичного перетворення для акустичного каротажу призвело до знаходження дієвого способу визначення густини за даними АК;

- ефективність запропонованого способу відновлення геогустинного розподілу підтверджено на модельних і реальних даних.

4) Розроблено алгоритм визначення поправки за глинистість на основі використання подвійного різницевого параметра гамма-каротажу для оцінки коефіцієнта пористості теригенних порід-колекторів за рівнянням середнього часу на етапі оперативної інтерпретації даних АК, при цьому:

- встановлено, що залежність між параметрами ПС і ГК для родовищ Північного борту ДДЗ обернено пропорційна ($\alpha_{ПС} + \Delta I_{\gamma} \approx 1$);

- отримано нове співвідношення для визначення коефіцієнта пористості з врахуванням глинистості теригенних порід за комплексом методів АК і ГК на етапі оперативної інтерпретації даних.

- ефективність розробленого алгоритму визначення коефіцієнта пористості за комплексом методів АК і ГК підтверджено результатами кернових вимірювань.

5) Встановлено, що серед динамічних параметрів поздовжньої хвилі акустичного сигналу амплітуди, зареєстровані при проведенні багатозондового АК, характеризуються найбільшою інформативністю для розв'язку задачі оцінки характеру насичення колекторів. Цей висновок зроблено на основі порівняльного аналізу впливу пористості, глинистості та типу флюїду на амплітуду поздовжньої хвилі.

Уперше запропоновано, як додатковий інформативний параметр сигналу багатозондового АК для визначення характеру насичення колекторів,

використовувати значення амплітуди A_0 поздовжньої хвилі при довжині зонда $L \rightarrow 0$:

- розроблено основні підходи до визначення параметра A_0 та оцінки характеру насичення колекторів за даними цього параметра;
- ефективність використання параметра A_0 підтверджується випробуваннями пластів-колекторів.

Упровадження результатів проведених досліджень у практику ГДС підвищить інформативність хвильового акустичного каротажу не тільки з метою визначення емнісних параметрів порід-колекторів, а й для параметричного забезпечення сейсморозвідки, що сприятиме ефективності геолого-геофізичних робіт у цілому.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Муц С.Є. Визначення параметрів середовища за даними акустичного каротажу з метою прогнозування геологічного розрізу / С.Є.Муц, Ю.В.Філатов // Наук. вісник НГАУ.-Дніпропетровськ.-2001.-№5.-С.22-23. (Особистий внесок – теоретичні дослідження, створення алгоритму відновлення геогустинного розрізу, 50%).
2. Муц С.Є. Нові можливості детального вивчення навколосвердловинного простору методом широкосмугового акустичного каротажу / С.Є.Муц, Ю.В.Філатов // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ – Івано-Франківськ: Факел. – 2002. – №1. – С.33-36. (Особистий внесок – теоретичні та експериментальні дослідження, обробка та аналіз отриманих результатів, 80%).
3. Муц С.Є. Врахування глинистості порід-колекторів при визначенні коефіцієнта пористості за матеріалами акустичного каротажу / С.Є.Муц // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – Івано-Франківськ. – 2010. – №1(34). – С.132-137.
4. Кашуба Г.О. Оцінка характеру насичення порід-колекторів за даними амплітуди “нульового зонда” багатозондового акустичного каротажу / Г.О.Кашуба, С.Є.Муц, Р.Ф.Федорів // Науковий вісник ІФНТУНГ. – Івано-Франківськ – 2010. – №2(24). – С.15-22. (Особистий внесок – теоретичні дослідження, обробка й аналіз свердловинних даних, 70%).
5. Муц С.Є. Визначення нахилу пласта за даними АКШ / С.Є.Муц, Ю.В.Філатов // 36. Наук.пр. Матеріали 6-ої Міжнар. наук.-практ. конф. “Нафта і газ України – 2000”. – Том 1. – Івано-Франківськ: Факел. – 2000. – С.307-308. (Особистий внесок – теоретичне обґрунтування, створення алгоритму визначення кута нахилу пластів, 50%).

6. Muts S. Structured interpretation of phase-correlation diagrams of broadband acoustic log / S.Muts // Carpathian petroleum conference "Application of modern exploration methods in a complex petroleum system". – Wysowa, Poland. – 2001. – P.72-73.

7. Муц С.Е. Структурная интерпретация фазокорреляционных диаграмм широкополосного акустического каротажа / С.Е.Муц // Труды Пятого Междунар. научного симпозиума им. ак. М.А.Усова "Проблемы геологии и освоения недр". – Томск: СТТ. –2001. – С.293-296.

8. Муц С.Є. Визначення геогустинного розподілу за даними акустичного каротажу / С.Є.Муц // Тези доповідей наук.-практ. Конференції «Нафтогазова геофізика – стан та перспективи», 25–29 травня 2009р. – Івано-Франківськ. – 2009. – С.200-202.

9. Кашуба Г.О. Якісна оцінка характеру насичення порід-колекторів за даними багатозондового АК / Г.О.Кашуба, Р.Ф.Федорів, С.Є.Муц // Моніторинг геологічних процесів: матеріали ІХ Міжнар. наук. конференції, 14-17 жовтня 2009р. – Київ. 2009. – С.176-178. (Особистий внесок – розробка теоретичної частини, обробка даних досліджень свердловин, 40%).

10. Кашуба Г.О. Деякі аспекти визначення пористості глинистих колекторів за даними АК / Кашуба Г.О., Муц С.Є. // Моніторинг геологічних процесів: матеріали ІХ Міжнар. наук. конференції, 14-17 жовтня 2009р. – Київ. 2009. – С.178-180. (Особистий внесок – розробка теоретичної частини, проведення експериментів, аналіз результатів, 50%).

Анотація

Фролова С.Є. Методологічні аспекти підвищення ефективності використання інформативного сигналу хвильового акустичного каротажу. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата геологічних наук за спеціальністю 04.00.22 – Геофізика. Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2010.

Дисертаційна робота присвячена актуальній проблемі підвищення інформативності хвильового акустичного каротажу з метою визначення ємнісних параметрів порід-колекторів і параметричного забезпечення сейсморозвідки.

На основі теоретичних обґрунтувань отримано нове рівняння для визначення кутів нахилу границь відбиття. Розроблено спосіб визначення густини гірських порід при використанні кінематичних і динамічних параметрів акустичного сигналу. У результаті встановленої обернено пропорційної залежності між параметрами ПС ($\alpha_{ПС}$) і ГК (ΔT) для родовищ північного борту ДДЗ розроблено алгоритм визначення коефіцієнта

пористості теригенних порід-колекторів з врахуванням глинистості за параметром ГК на етапі оперативної інтерпретації даних АК. Знайдено додатковий інформативний параметр акустичного сигналу для визначення характеру насичення колекторів A_0 – амплітуда поздовжньої хвилі при довжині зонда $L \rightarrow 0$. Запропоновані алгоритми апробовані на фактичному матеріалі.

Ключові слова: акустичний сигнал, кут нахилу границі відбиття, густина, пористість, амплітуда, характер насичення, порода-колектор.

Аннотация

Фролова С.Е. Методологические аспекты повышения эффективности использования информативного сигнала волнового акустического каротажа. – Рукопись. Диссертация на соискания ученой степени кандидата геологических наук по специальности 04.00.22 – Геофизика. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2010.

Диссертация посвящена актуальной проблеме повышения информативности волнового акустического каротажа с целью определения емкостных параметров пород-колекторов и параметрического обеспечения сейсморазведки.

На основе теоретических обоснований получено новое уравнение для определения угла наклона отражающих границ по данным волнового АК и разработан алгоритм структурной интерпретации фазокорреляционных диаграмм АК. С целью прогноза коллекторских и упругих свойств пород предложено по кинематическим и динамическим параметрам акустического сигнала восстанавливать распределение плотностей геологического разреза посредством нахождения коэффициентов прохождения продольных волн через границы. Установлена обратно пропорциональная зависимость между параметрами ПС ($\alpha_{ПС}$) и ГК (ΔI_{γ}) для месторождений северного борта ДДВ. На основании найденной взаимосвязи предложен подход определения поправки за глинистость при использовании параметра ГК для оценки коэффициента пористости терригенных коллекторов на этапе оперативной интерпретации данных АК. Установлено, что среди динамических параметров продольной волны наибольшей информативностью для оценки характера насыщения коллекторов характеризуются амплитуды, зарегистрированные при проведении многозондового АК. Для решения этой задачи найден дополнительный информативный параметр A_0 – рассчитанная амплитуда продольной волны при длине зонда $L \rightarrow 0$.

Разработанные алгоритмы апробированы на фактических материалах и подтверждены результатами пластовой наклонометрии, плотностного каротажа, результатами анализов керна и опробования пластов.

Ключевые слова: акустический сигнал, угол наклона отражающей границы, плотность, пористость, амплитуда, характер насыщения, порода-коллектор.

Annotation

Frolova S.E. Methodological aspects of increasing the effectiveness of using an informative signal in acoustic logging. – Manuscript.

Thesis for the degree of Candidate of Geological Sciences, specialty 04.00.22 - Geophysics. Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ivano-Frankivsk, 2010.

The thesis is devoted to an actual problem of increasing the effectiveness of acoustic logging to determine reservoir rock parameters and parametric supply for seismic interpretation.

Based on theoretical studies, a new equation for determining the dip angles of reflection boundaries has been derived. A new method for determining the density of rocks using kinematic and dynamic parameters of the acoustic signal has been developed. The results of application an inverse proportional dependence between the parameters of SP and GR data within the fields of northern edge of Dnieper-Donets depression led to algorithm design for determining the coefficient of porosity of reservoir rocks on the stage of operational interpretation. A new additional parameter of acoustic signal has been defined which can be used for determining the type of saturation of reservoir rocks – the amplitude of P-wave when length of sound aspires to the zero. Presented algorithms have been tested on actual data.

Keywords: acoustic signal, the dip angle of reflection boundaries, density, porosity, amplitude, the type of saturation, reservoir rock.

