

К. Тройнич, асп.,
С. Выхва, д-р геол. наук, проф.,
Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко,
УНИ "Институт геологии", ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина

ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ЛУЧЕВОЙ ТОМОГРАФИИ ПРИ ОБРАБОТКЕ БОЛЬШИХ МАССИВОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Сейсмическая томография – мощный инструмент для исследования земных недр, который в последние годы стал отраслевым стандартом в международной геофизике. Однако он практически не нашел применения в Украине. С целью развития отечественной геофизики, а также в рамках научной темы "Разработка теории и методологии построения динамических геолого-геофизических моделей геологических объектов и процессов", которая финансируется фондом фундаментальных и прикладных исследований Киевского национального университета имени Тараса Шевченко, на кафедре геофизики геологического факультета разрабатываются теоретические и методологические основы геофизической томографии и литологической инверсии, в частности, разработаны алгоритм и программное обеспечение для реализации сейсмической лучевой томографии.

В качестве алгоритма для обновления скоростной модели был избран метод одновременной итеративной реконструктивной томографии (SIRT), который является модификацией метода алгебраической реконструктивной томографии, в котором поправка к модели рассчитывается с одновременным использованием всех доступных лучей, пересекающих модель под разными углами.

Трассирование сейсмических лучей через скоростную модель основывается на идее построения дерева кратчайших расстояний с использованием теории сетей. Такой подход позволяет за один раз получить траектории и времена пробега всех лучей, исходящих из одного источника, что в значительной мере сокращает время расчетов. В качестве алгоритма построения дерева кратчайших расстояний был избран L-deque, который зарекомендовал себя как один из наиболее быстрых и устойчивых алгоритмов при работе с большими объемами данных.

Программное обеспечение реализовано с использованием современных средств разработки и апробировано на модельных примерах.

Ключеві слова: сейсмическая томография, скоростная модель, массив

УДК 550.832

В. Колісніченко, канд. геол.-мінералог. наук
ОЦ ГПІ ТОВ "Надра Інтегровані рішення"
вул. Дубровицька, 28, м. Київ, Україна
E-mail: vl_kolko@yahoo.com

Г. Кашуба, канд. геол. наук.
ТОВ "Надра Інтегровані рішення"
вул. Дубровицька, 28, м. Київ, Україна
E-mail: Kashuba11@mail.ru

Е. Солодкий, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
ННІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: Eugeniy_Solodkiy@ukr.net

ПРОГНОЗУВАННЯ ГЕОАКУСТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗРІЗІВ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН ДДЗ ЗА ВІДСУТНОСТІ ВІМІРІВ АКУСТИЧНОГО КАРОТАЖУ

(Рекомендовано членами редакційної колегії доктором геол.-мінералог. наук, проф. В.М. Курганським та кандидатом геол. наук, ст. наук. співроб. І.М. Безродною)

Метою статті є: – оцінка можливостей побудови геоакустичної моделі досліджуваного розрізу гірських порід Дніпровсько-Донецької западини залежно від наявного комплексу геофізичних досліджень свердловин; – аналіз існуючих способів і методик прогнозування параметрів геоакустичної моделі (швидкості розповсюдження пружних коливань у пласті, акустичної жорсткості досліджуваного середовища та коефіцієнтів відбиття) за обмеженого комплексу ГДС; – визначення точності прогнозу вище названих параметрів геоакустичної моделі на прикладі свердловини № 6 Свиридівської площі.

Проведено обробку та інтерпретацію геофізичних досліджень свердловин у досліджуваному розрізі. Розраховано компонентний склад гірських порід. За методикою побудови лінійних геоакустичних моделей свердловин проведено моделювання пластової швидкості розповсюдження пружних коливань та густини гірських порід. У роботі зроблено спробу класифікації всіх основних способів визначення параметрів геоакустичної моделі за допомогою різних даних геофізичних досліджень свердловин. Проаналізовано можливість визначення пластових швидкостей та коефіцієнтів відбиття за даними електрокаротажу, нейтронного каротажу та нормальних залежностей зміни петрофізичних властивостей гірських порід з глибиною (як вхідну інформацію використано: питомий опір породи за даними градієнт- і потенціал-зондів, бокового каротажу; пористість, визначену за даними електрокаротажу; покази гамма- і нейтронного каротажу; воднемість; глибину залягання досліджуваних відкладів). Зроблено порівняння отриманих прогнозованих параметрів з фактичними параметрами геоакустичної моделі. Основні результати виконаних експериментів зведено в таблицю, де показано рівняння, що були використані для прогнозу швидкості, парні коефіцієнти кореляції взаємозв'язку прогнозованої і фактичної (спостереженої) швидкостей, а також відносну середньоквадратичну помилку прогнозу швидкості хвиль, акустичної жорсткості та коефіцієнтів відбиття. На базі проведених досліджень наведено конкретні рекомендації щодо розв'язання поставленої задачі, залежно від наявності у інтерпретатора методів ГДС. Теоретичні висновки підтверджено статистичним аналізом.

Ключові слова: геоакустична модель, пластова швидкість, акустична жорсткість, коефіцієнт відбиття.

Вступ. Теоретичні відомості. Основними параметрами геоакустичної моделі, які можуть бути визначені за даними геофізичних досліджень свердловин (ГДС), є: швидкість розповсюдження пружних коливань у пласті (пластові швидкості), акустична жорсткість (хвильовий опір) досліджуваного середовища, коефіцієнти відбиття пружних хвиль.

Коефіцієнт відбиття (К) пружних хвиль на границі двох пластів є відношенням амплітуд відбитої або заломленої хвилі до амплітуди падаючої хвилі. Акустична жорсткість (G) – це добуток густини (δ) на пластову швидкість. За наявності якісного запису щільнісного

(ГГК-Щ) і акустичного (АК) каротажів визначення названих вище параметрів не викликає складностей.

Ситуація дещо ускладнюється при відсутності ГГК-Щ, що є типовим випадком у практиці каротажу. Це обумовлено, по-перше, відсутністю відповідної апаратури, що використовувалася у старому фонді свердловин (до середини 80-их років минулого століття); по-друге, навіть у свердловинах нового фонду використання ГГК-Щ часто обмежене продуктивними або перспективними інтервалами. Для цілей сейсмопараметрики необхідно мати дані про густину всього розрізу гірських порід у цілому. В такому випадку задача розв'язується шляхом

використання методики побудови лінійних геоакустичних моделей розрізів свердловин (ЛГАМ), що переважно орієнтована на комплекс ГДС: АК, нейтронний каротаж (НК), гамма-каротаж (ГК) [2]. Разом з тим, на практиці можуть виникнути ситуації, коли необхідно побудувати геоакустичну модель за умови, що АК у необхідному інтервалі не проводився. З цією проблемою інтерпретатори стикаються досить давно, особливо, коли вимірювання АК виконувалися в одиничних свердловинах.

Аналіз попередніх досліджень. Для умов України був накопичений значний досвід, що, насамперед, пов'язаний з роботами Т. Ізотової [1] та Г. Петкевича [5], де наводяться приклади визначення пластових швидкостей за даними електрокаротажу (ЕК).

З метою більш глибокого розуміння проблеми та оцінки можливостей побудови геоакустичних моделей за даними ГДС зроблено спробу класифікації всіх основних способів обробки. Ці дані зведені в табл. 1. Основною для прогнозування акустичних властивостей є вза-

ємозв'язок методів ЕК і НК, як і АК, з літологією та пористістю порід. У даний час досить детально пророблені й широко використовуються перші два способи (див. табл. 1), що дають найбільш повну і достовірну інформацію про досліджуваний розріз і його геоакустичні властивості.

Табл. 1 складено з урахуванням того, що для обробки сейсморозвідувальних даних найважливішою є наявність швидкісної моделі середовища. Способи з першого по сьомий мають на меті визначення прогнозової швидкості (V_{np}) по всьому інтервалу, що обробляється, а дев'ятий – "навчання" в інтервалі наявності АК і розрахунок V_{np} по іншому інтервалу свердловини. Восьмий спосіб має проміжне значення – прогноз коефіцієнтів відбиття може здійснюватися по всьому інтервалу, а при наявності інформації про V_{np} і δ – у інтервалі з корегуванням після "навчання".

Таблиця 1

Можливості побудови геоакустичних моделей за даними ГДС

№	Параметри, що визначаються	Вхідні криві ГДС	Спосіб розв'язання
1	Компонентний склад, K_n , $K_{zл}$, V_{np} , δ_{np} , G_{np} , K^{np}	АК, НК, ГК, ГГК-Щ, ПС	$\begin{cases} W_n = W_\phi K_n + W_{zл} K_{zл} + W_{ск} (1 - K_n - K_{zл}) \\ W_n = f(I_n) \\ \delta_n = \delta_\phi K_n + \delta_{zл} K_{zл} + \delta_{ск} (1 - K_n - K_{zл}) \\ \delta_n = f(I_{гг}) \\ K_{zл} = f(\Delta I_\gamma), K_{ск} = f(\alpha_{ПС}) \\ 1 = K_n + K_{zл} + V_{ск} \\ V_{np} = 10^6 / \Delta T_\phi K_n + \Delta T_{zл} K_{zл} + \Delta T_{ск} (1 - K_n - K_{zл}); \\ \delta_{np} = \delta_\phi K_n + \delta_{zл} K_{zл} + \delta_{ск} (1 - K_n - K_{zл}); \\ G_{np} = V_{np} \delta_{np}; K^{np} = G_i - G_{i-1} / G_i + G_{i-1} \end{cases}$ де ΔT_n, ΔT_ϕ, $\Delta T_{zл}$, $\Delta T_{ск}$ – інтервальний час пробігу пружної хвилі в гірській породі, флюїді, що насичує поровий простір, глинистій компоненті і скелеті породи відповідно; W_n, W_ϕ, $W_{zл}$, $W_{ск}$ – водневміст у гірській породі, флюїді, що насичує поровий простір, глинистій компоненті і скелеті породи відповідно; δ_n, δ_ϕ, $\delta_{zл}$, $\delta_{ск}$ – густина гірської породи, флюїду, що насичує поровий простір, глинистої компоненти і скелету породи відповідно; K_n, $K_{zл}$, $V_{ск}$ – об'єм пор, глинистої компоненти і скелету відповідно; I_n, $I_{гг}$ – покази НК, ГГК-Щ і ГК відповідно; $\alpha_{ПС}$ – різницевий параметр за методом самочинної поляризації; ΔI_γ – подвійний різницевий параметр по ГК; δ_{np} – прогнозна густина г.п.; G_{np} – прогнозна акустична жорсткість; K^{np} – прогнозний коефіцієнт відбиття.
2	Компонентний склад, K_n , $K_{zл}$, V_{np} , δ_{np} , G_{np} , K^{np}	АК, НК, ГК, ПС	$\begin{cases} \Delta T_n = \Delta T_\phi K_n + \Delta T_{zл} K_{zл} + \Delta T_{ск} (1 - K_n - K_{zл}) \\ W_n = W_\phi K_n + W_{zл} K_{zл} + W_{ск} (1 - K_n - K_{zл}) \\ W_n = f(I_n) \\ K_{zл} = f(\Delta I_\gamma), K_{ск} = f(\alpha_{ПС}) \\ 1 = K_n + K_{zл} + V_{ск} \\ V_{np} = 10^6 / \Delta T_\phi K_n + \Delta T_{zл} K_{zл} + \Delta T_{ск} (1 - K_n - K_{zл}); \\ \delta_{np} = \delta_\phi K_n + \delta_{zл} K_{zл} + \delta_{ск} (1 - K_n - K_{zл}); \\ G_{np} = V_{np} \delta_{np}; K^{np} = G_i - G_{i-1} / G_i + G_{i-1} \end{cases}$
3	Компонентний склад, K_n , $K_{zл}$, V_{np} , δ_{np} , G_{np} , K^{np}	НК, ГК	$\begin{cases} W_n = W_\phi K_n + W_{zл} K_{zл} + W_{ск} (1 - K_n - K_{zл}) \\ W_n = f(I_n) \\ K_{zл} = f(\Delta I_\gamma) \\ 1 = K_n + K_{zл} + V_{ск} \\ V_{np} = 10^6 / \Delta T_\phi K_n + \Delta T_{zл} K_{zл} + \Delta T_{ск} (1 - K_n - K_{zл}); \end{cases}$

			$\delta_{np} = \delta_{\phi} K_n + \delta_{\text{эл}} K_{\text{эл}} + \delta_{\text{ск}} (1 - K_n - K_{\text{эл}});$ $G_{np} = V_{np} \delta_{np}; K^{np} = G_i - G_{i-1} / G_i + G_{i-1}$
4	$K_n, K_{\text{эл}}, V_{np}, \delta_{np}, G_{np}, K^{np}$	НК, ГК	$K_{\text{эл}} = f(\Delta I_{\gamma}); W_n = f(I_n); K_n = W_n - W_{\text{эл}} K_{\text{эл}}$ $V_{np} = 10^6 / \Delta T_{\phi} K_n + \Delta T_{\text{эл}} K_{\text{эл}} + \Delta T_{\text{ск}} (1 - K_n - K_{\text{эл}});$ $\delta_{np} = \delta_{\phi} K_n + \delta_{\text{эл}} K_{\text{эл}} + \delta_{\text{ск}} (1 - K_n - K_{\text{эл}});$ $G_{np} = V_{np} \delta_{np}; K^{np} = G_i - G_{i-1} / G_i + G_{i-1}$
5	$K_n, K_{\text{эл}}, V_{np}$	ГК, НК, ЕК	$K_{\text{эл}} = f(\Delta I_{\gamma}); W_n = f(I_n); K_n = W_n - W_{\text{эл}} K_{\text{эл}}$ $P_n = \rho_n / \rho_e; K_n = \sqrt[n]{a / P_n}$ 1. $V_{np} = f(K_n, \ln H)$ 2. $\rho_e = a + b + e^{c \cdot H}; P_n = \rho_n / \rho_e; V_{np} = f(K_n, \ln P_n)$ 3. $V_{np} = f(K_n, \ln P_n, \ln H, \Delta I_{\gamma})$, де P_n – параметр пористості; ρ_n, ρ_e – питомий опір породи і пластової води відповідно; H – глибина в метрах.
6	$K_n, K_{\text{эл}}, V_{np}$	ГК, ЕК	$\rho_e = a + b + e^{c \cdot H}; K_{\text{эл}} = f(\Delta I_{\gamma}); P_n = \rho_n / \rho_e; K_n = \sqrt[n]{a / P_n}$ 1. Для всіх типів порід: $V_{np} = a_1 K_n + b_2$, 2. Для чистих порід ($K_{\text{эл}} < 20\%$): $V_{np} = a_2 K_n + b_2$, 3. Для глинистих порід ($K_{\text{эл}} \geq 20\%$): $V_{np} = a_3 K_n + b_3$
7	V_{np}	ЕК	$\rho_e = a + b + e^{c \cdot H}; P_n = \rho_n / \rho_e; V_{np} = (\ln P_n - a) / b$
8	K^{np}	Один з методів ГК, НК або ЕК	$K_{\text{ЕК}}^{np} = (\rho_{\kappa}^i - \rho_{\kappa}^{i-1}) / (\rho_{\kappa}^i + \rho_{\kappa}^{i-1}); K_{\text{ЕК}}^{np} = (I_{\kappa}^i - I_{\kappa}^{i-1}) / (I_{\kappa}^i + I_{\kappa}^{i-1});$ $K_{\text{ГК}}^{np} = (I_{\gamma}^i - I_{\gamma}^{i-1}) / (I_{\gamma}^i + I_{\gamma}^{i-1})$, де ρ_{κ}^i – питомий опір і-го пласта по ЕК
9	V_{np}, K^{np}	АК і один з методів ГК, НК або ЕК	1. $V_{np} = f(I_{\text{ГК}}; HK; EK)$ 2) $K = (I_i - I_{i-1}) / (I_i + I_{i-1});$ 2. $K^{np} = a \cdot K + b$, де I_i – попластові значення $I_{\text{ГК}}(\Delta I_{\gamma}), HK(W_n), EK, \rho_{\kappa}^{BK/13} / \rho_e; \rho_{\kappa}^{BK/13}$ – питомий електричний опір по боковому каротажу або стандартному градієнт-зонду, 3. $V_{np} = a \cdot I_i + b$, де $a = \sigma_V / \sigma_I, b = M_V / a M_I; \sigma_V, \sigma_I, M_V, M_I$ – середньоквадратична похибка і математичне очікування V_{np} і I_i відповідно

Викладення основного матеріалу. В подальшому основну увагу приділено апробації способів з третього по дев'ятий. Як об'єкт випробування було взято свердловину 6 Свиридівської площі ДДЗ (інтервал 4900–5440 м). Вибір даної свердловини обумовлений тим, що більша частина досліджень, виконана Г. Петкевичем і Ю. Усенко [5], проводилася для цього району ДДЗ. Ними було встановлено статистичні залежності між K_n піщано-глинистих порід і даними ГДС. Ці математичні моделі узагальнено як 5-й і 6-й способи. Конкретні чисельні значення цих формул, вирішених відносно ΔT , зведено в табл. 2. Для північно-західної частини ДДЗ ними рекомендовано формули 5.1 і 5.2 (табл. 1). Для кам'яновугільних відкладів центральної частини ДДЗ – 5.3. Більш універсальні рівняння для всіх типів порід ДДЗ, а також з розподілом на чисті ($K_{\text{эл}} < 20\%$) і глинисті ($K_{\text{эл}} \geq 20\%$), показано як варіанти 6.1 і 6.2.

Для більш детальної апробації цих статистичних рівнянь використовувалися K_n , визначені як за методом НК, так і ЕК. Аналогічно, параметр пористості (P_n) міг визначатися як по боковому каротажу, так і по стандартному градієнт-зонду.

Т.С. Ізотова вивчила великий обсяг кернового матеріалу по родовищах ДДЗ, у результаті чого було виведено спосіб 7, що поєднує V_{np} і P_n . Параметр пористості визначається за даними ЕК (градієнт-зондування – ГЗ або бокового каротажу – БК):

$$P_n = 0,56 \cdot e^{0,00126 \cdot V_{np}}, \quad (1)$$

Основні результати виконаних експериментів зведено в табл. 2, де показано рівняння, що були використані для прогнозу швидкості, парні коефіцієнти кореляції взаємозв'язку прогнозової і фактичної (спостереженої) швидкостей (V_{ϕ}). У крайній з права колонці наводиться відносна середньоквадратична помилка прогнозу швидкості хвиль або акустичної жорсткості, визначена як відношення дисперсій прогнозованого параметра до середнього по інтервалу свердловини значення V_{ϕ} або K^{ϕ} (фактичний коефіцієнт відбиття).

Зупинимось більш детально на окремих способах. Так, при наявності методів ГК і НК можна спробувати розв'язати задачу, склавши наведену в табл. 2 (спосіб 3) систему рівнянь, з якої очевидно, що параметрами, які визначаються, будуть: K_n , об'ємний вміст скелету (в нашому випадку, $K_{\text{писк}}$ – піщанистість) і $K_{\text{эл}}$. Для прогнозу швидкості використовується лінійне рівняння. Для даного способу отриманий досить непоганий коефіцієнт кореляції (r) між значеннями швидкості, що реєструється ($V_{\phi} = 10^6 / \Delta T$), і V_{np} , він дорівнює 0.67. Помилка складала 8.7%.

Для методів ГК і НК можна запропонувати й інший спосіб (4 у табл. 1), суть якого очевидна з табл. 2. Для цього способу отримано більш точні результати – коефіцієнт кореляції склав 0.77, а помилка прогнозу 7.4%. Зіставлення пластових значень швидкостей V_{ϕ} і $V_{np}^{ГК, НК}$ показані на рис. 1.

Далі широко випробувалися способи із застосуванням залежностей Ю. Усенко (5.1, 5.2, 5.3, 6.1, 6.2).

З отриманих результатів слід відмітити, що якість прогнозування за цими способами виявилася невисокою. Випробуванням способів 5 і 6 з табл. 1 зайвий раз було підтверджено, що статистичні зв'язки (рівняння), отримані для сусідніх районів, будуть неефективні на інших площах.

Кращі результати отримані за формулою Т. Ізотової (спосіб 7), яка істотну увагу приділила глинам [1]. Із застосуванням методу БК або ГЗ отримані відповідні помилки прогнозування кривих швидкостей – 13% і 9,7%. На рис. 1 (стовпчик 7) показано криву прогнозних швидкостей, визначених за формулою $7 - V_{np}^{ГЗ}$.

Нижче, у табл. 3, наведено коефіцієнти парної кореляції між швидкістю, густиною та іншими методами ГДС. Мета – випробування способу 9.1 – "навчання" в інтервалі розрізу 5180-5440 м і прогноз на весь досліджуваний інтервал. Як бачимо з даної таблиці, найбільша тіснота зв'язку між V_{ϕ} і методами ГДС спостерігається для ГК ($r = 0.8$), НК ($r = 0.76$) і $\ln \rho_{\kappa}^{BK} / \rho_e$ ($r = 0.67$).

Варто звернути увагу, що практично відсутній зв'язок між густиною і методами ГДС, виняток становить кавернометрія (ДС). Це говорить про низьку якість методу ГГК-Щ, що варто врахувати при аналізі результатів.

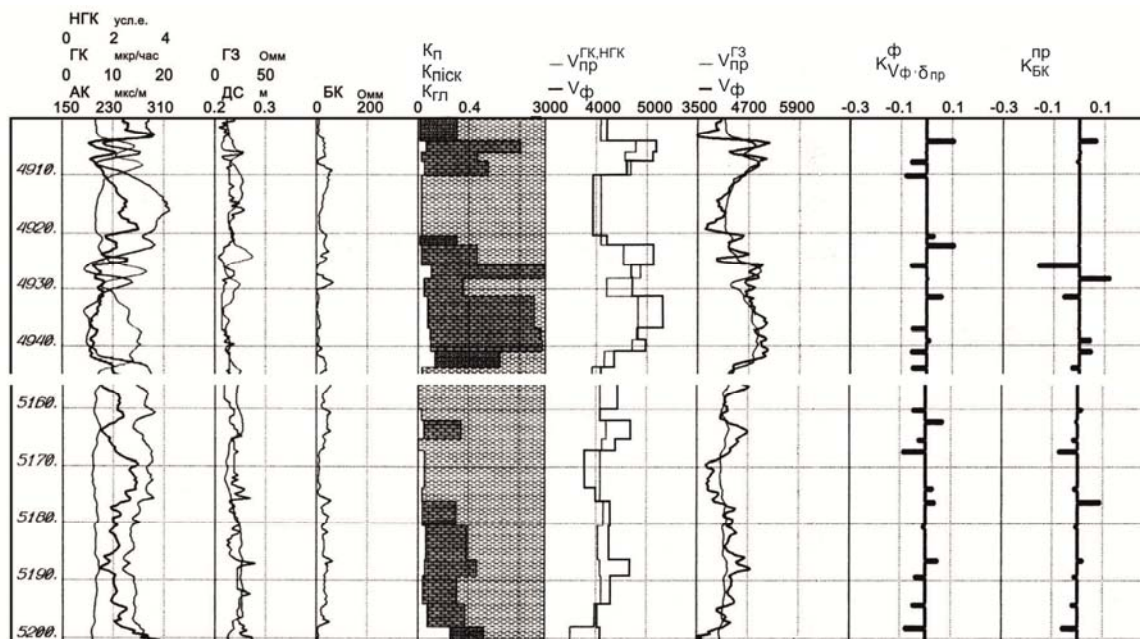


Рис. 1. Приклад прогнозування швидкостей та коефіцієнтів відбиття (свердловина 6 Свиридівська площа, ДДЗ, Україна)

Таблиця 2

Результати прогнозування швидкості розповсюдження хвиль і коефіцієнта відбиття на прикладі свердловини 6 Свиридівської площі

№ варіанту згідно з табл. 1	Основні рівняння, що були використані	Джерело	Параметри, що визначаються	Коефіцієнти кореляції для $V_{np} = f(V_{\phi})$ або $K_{np} = f(K_{\phi})$	Помилка прогнозу, %
3	$\begin{cases} W_n = 1 \cdot K_n + 0,22K_{\Sigma} - K_{\text{ніск}} \\ W_n = f(I_n) \\ K_{\Sigma} = f(\Delta I_{\gamma}) \\ 1 = K_n + K_{\Sigma} + K_{\text{ніск}} \\ V_{np} = 10^6 / (610K_n + 172K_{\text{ніск}} + 244K_{\Sigma}) \end{cases}$		$K_n, K_{\Sigma}, K_{\text{ніск}}, V_{np}$	0.67	8.7
4	$\begin{cases} K_n = W_n - 0,24K_{\Sigma}; \quad K_{\Sigma} = f(\Delta I_{\gamma}); \\ V_{np} = 10^6 / (610K_n + 172K_{\text{ніск}} + 244K_{\Sigma}), \\ K_{\text{ніск}} = 1 - K_n - K_{\Sigma} \end{cases}$		K_n, K_{Σ}, V_{np}	0.77	7.4
$K_n = W_n - 0,24K_{\Sigma}; \quad K_{\Sigma} = f(\Delta I_{\gamma}); \quad W_n = f(I_n); \quad K_n^{EK} = \sqrt[3]{a/P_n}; \quad P_n = \rho_n / \rho_e; \quad \rho_e = -0,132 + 0,353e^{(-0,00139H)},$ де K_n^{EK} – пористість обрахована за ЕК ($K_n^{ГЗ}$ – за ГЗ; $K_n^{БК}$ – за БК).					
5.1	$V_{np} = 10^6 / (481,7 + 4,16K_n - 3771 \ln H)$	5	$V_{np}^{K_n}$ $V_{np}^{K_n^{BK}}$	0.46 0.47	
5.2	$V_{np} = 10^6 / (-215,2 + 15,9K_n - 54,1 \ln P_n)$	5	$V_{np}^{K_n^{ГЗ}}$ $V_{np}^{K_n^{BK}}$	0.48 0.51	64 61

5.3	$V_{np} = 10^6 / (55 \ln H - 3,7 \Delta I_{\gamma} - 304 - 6,1 K_n)$	5	$V_{np}^{K_n}$	0.44	
			$V_{np}^{K_n^{BK}}$	0.45	
6.1	$V_{np} = 10^6 / 3,8 K_n + 186,9$	5	$V_{np}^{K_n^{BK}}$	0.44	
6.2	Для чистих: $V_{np} = 10^6 / 3,64 K_n + 178,9$ Для глинистих: $V_{np} = 10^6 / 5,32 K_n + 211,2$	5	$V_{np}^{K_n^{BK}}$	0.01	
7	$V_{np} = (\ln P_n - \ln 0,56) / 0,00126$	1	V_{np}^{BK}	0.58	13
			$V_{np}^{I^3}$	0.52	9.7
8	$K^{np} = (I^i - I^{i-1}) / (I^i + I^{i-1})$, де I^i – поплатові значення $ГК$, ΔI_{γ} , HK , W_n , BK , $\ln \rho_{\kappa}^{BK} / \rho_e$.	3, 4	$K_{ГК}^{np}$	0.67	130
			$K_{\Delta I_{\gamma}}^{np}$	0.57	225
			K_{HK}^{np}	0.66	95
			$K_{W_n}^{np}$	0.37	125
			K_{BK}^{np}	0.46	160
			$K_{\ln \rho_{\kappa}^{BK} / \rho_e}^{np}$	0.47	30
9.1	$V_{np} = 5466,9 - 6082,3 W_n$ $V_{np} = 5150,6 - 1264,6 \Delta I_{\gamma}$ $V_{np} = 1006,4 + 415 \ln \rho_{\kappa}^{BK} / \rho_e$ $V_{np} = -3728,6 + 1078,4 \ln \rho_{\kappa}^{I^3} / \rho_e$		$V_{np}^{W_n}$	0.8	6.9
			$V_{np}^{ГК}$	0.76	7.4
			V_{np}^{BK}	0.58	9.4
			$V_{np}^{I^3}$	0.52	10.2
9.3	$V_{np} = 621 \ln \rho_{\kappa}^{BK} / \rho_e - 609,7$		V_{np}^{BK}	0.58	10.9

Таблиця 3

Вивчення парних зв'язків швидкості й густини від показів методів ГДС, отриманих у свердловині 6 Свиридівської площі (інтервал 5180-5440 м)

Криві ГДС	ГК (ΔI_{γ})	НК (ΔI_n)	НК (W_n)	ЕК (ρ_{κ}^{BK})	ЕК ($\ln \rho_{\kappa}^{BK} / \rho_e$)	ЕК ($\ln \rho_{\kappa}^{I^3} / \rho_e$)	ГГК-Щ (ΔI_{γ})	ДС
V_{ϕ}^{AK}	0.8	0.75	0.76	0.54	0.67	0.52	0.25	0.55
$\delta_{\phi}^{ГГК}$	0.18	0.15	0.14	0.18	0.05	-	-	0.57

Отримані парні рівняння взаємозв'язку $V_{np} = f(W_n)$, $V_{np} = f(\Delta I_{\gamma})$ та інші наводяться в табл. 2. За допомогою цих рівнянь виконано прогноз швидкостей на весь досліджуваний інтервал 4900-5440 м. Найбільш близькі результати між V_{np} і V_{ϕ} , отримані при використанні показів методу НК, перетворених у криву водневмісту W_n . Помилка прогнозу виявилася найменшою – 6.9%.

Спосіб 9.3 базується на статистичному еталонуванні методів ГДС. Як експеримент для "навчання" був взятий метод БК. Помилка прогнозу склала 10.9%, що виявилось трохи гірше, ніж при використанні рівняння $V_{np} = 1006,4 + 415 \ln \rho_{\kappa}^{BK} / \rho_e$, отриманого шляхом регресивного аналізу.

У цілому, способи 9.1 і 9.3, що основані на "навчанні", як і передбачалося, виявилися найбільш ефективними. Помилка коливається від 6.9 до 10.9%.

У роботах Д. Крилова [3, 4] та інших авторів стверджується, що кращі результати прогнозу акустичних властивостей можна одержати, перейшовши безпосередньо до вивчення коефіцієнтів відбиття, що розраховуються для пластів за методами ГК, НК та ін. У табл. 2 наведено парні коефіцієнти кореляції залежностей $K_{np} = f(K_{V_{\phi}, \delta_{np}}^{\phi})$ для всього інтервалу.

Аналіз отриманих результатів з очевидністю показує, що одержані коефіцієнти кореляції між $K^{\phi} = f(K^{np})$ невисокі, максимальна величина склала 0.67. Аналіз

результатів показав, що в розглянутих геологічних умовах даний метод не дав кращого результату порівняно зі способами 9.1, 9.3. Помилки прогнозу коефіцієнтів відбиття виявилися досить великі, найменша була отримана для методів ЕК (БК і ГЗ) – 30%. На рис. 1 співставлено величини $(K_{V_{\phi}, \delta_{np}}^{\phi})$ і K_{BK}^{np} .

Висновки. На базі проведених досліджень залежно від наявності у інтерпретатора методів ГДС можливі різні варіанти вирішення завдання прогнозування швидкостей. За наявності повного комплексу ГДС (АК, НК, ГК/ПС, ГГК-Щ) необхідно використовувати спосіб 1 або 2 (за відсутності ГГК-Щ). За відсутності вимірів АК перевагу варто віддавати 4-му способу, за відсутності даних ГК і НК – способу Т. Ізотової (7-му). Якщо виміри АК будуть наявні частково в досліджуваній свердловині, то, залежно від наявних методів каротажу, треба для прогнозу швидкостей скористатися способом 9.1.

Список використаної літератури

- Ізотова Т.С., (1971). Определение пластовых и средних скоростей по данным электрометрии скважин. *Разведочная геофизика. М., Недра*, 50, 77-86.
- Izotova T.S., (1971). The determination of interval and average velocities according to electrical well logging. *Exploration geophysics. Moscow, Nedra*, 50, 77-86 (in Russian).
- Колісниченко В.Г. и др., (1991). Временные методические рекомендации по комплексной технологии обработки и интерпретации данных ГИС с целью решения сейсморазведочных задач (на базе применения системы ПТК ГИС). *Киев*.
- Kolisnichenko V.G., (1991). Intermit guidelines for the integrated processing and interpretation of well logging data in order to address seismic problems based on the application of GIS PTK. *Kyiv* (in Ukrainian).

3. Крылов Д.Н., Шилин К.К., (1991). Оптимизационные способы интерпретации комплексной геофизической информации. М., Наука, 232.

Krylov D.N., Shilin K.K., (1991). Optimization techniques for interpreting complex geophysical information. Moscow, Science, 232 (in Russian).

4. Крылов Д.Н., Шилин К.К., (1989). Использование оптимизационных алгоритмов при комплексной интерпретации геофизической информации. *Разведочная геофизика*, М., ВИЭМС, 7.

Krylov D.N., Shilin K.K., (1989). The use of optimization algorithms for complex interpretation of geophysical data. *Exploration geophysics*. Moscow, VIEMS, 7 (in Russian).

5. Петкевич Г.И., Усенко Ю.Н., Прытулко Г.И., (1982). Применение акустического каротажа при решении геологических задач для разрезов песчано-глинистых пород. Киев. Наукова думка.

Petkevich G.I., Usenko YU.A., Prytulko G.I. (1982). Application of acoustic logging in solving geological problems for the sections of sand and clay rocks. *Kyiv. Naukova Dumka* (in Ukrainian).

Надійшла до редколегії 28.07.14

V. Kolisnichenko, Cand. Sci. (Geol.-Min.)

CC GGI "NADRA GROUP" PLC Deputy Director

28 Dubrovyska Str., Kyiv, Ukraine

E-mail: vl_kolko@yahoo.com

G. Kashuba, Cand. Sci. (Geol.), Chief Geologist

"NADRA GROUP" PLC General Director First Deputy

28 Dubrovyska Str., Kyiv, Ukraine

E-mail: Kashuba11@mail.ru

E. Solodkiy, Postgraduate Student

Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv

90 Vasylkivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine

E-mail: Eugeni_Solodkiy@ukr.net

OIL-AND-GAS WELL SECTIONS IN DNIEPER-DONETS DEPRESSION: SIMULATING GEOACOUSTIC PROPERTIES VIA EXCLUDING ACOUSTIC LOGGING MEASUREMENTS

The paper is focused on evaluating feasibility to propose a geoacoustic model for a section of formations in the Dnieper-Donetsk Depression based on available well logging data. It provides a review of the methods and techniques sufficient to simulate a geoacoustic model for well #6 in Svyrydivska field including elastic wave propagation and velocity, acoustic impedance of the formation, reflection coefficients via limited data of well logging.

There were carried out both well logging data processing and interpretation in the case of rock section explored, followed by defining rock chemistry. The method of linear geoacoustic modeling was used to simulate elastic velocity, wave propagation, and rock density.

In this paper an attempt was made to classify all main methods necessary to elaborate a geoacoustic model using well logging data. There is studied simulated interval velocity and reflection coefficients based on electrical, neutron logging and normal dependency in the changes of rock petrophysical properties with depth. Input data included rocks resistivity measured by normal probes, lateral probes, and laterolog; porosity, defined by electrical logging; readings of gamma and neutron logs; hydrogen content; the depth of the deposits. The findings of the research are summarized in the table illustrating the equations used to simulate velocity, listing correlational pair coefficients of the hypothesized and verified velocity, a mean(-root)-square error of wave velocities, acoustic impedance, and reflection coefficients. The authors provide advice how to solve the problem with available well logging data and validate theoretical conclusions by statistical analysis.

Key words: geoacoustic model, interval velocity, acoustic impedance, reflection coefficient.

V. Колисниченко, канд. геол.-минералог. наук

ВЦ ГГИ ООО "Надра Интегрированные решения"

ул. Дубровицкая 28, г. Киев, Украина

E-mail: vl_kolko@yahoo.com

Г. Кашуба, канд. геол. наук, первый зам. ген. директора, главный геолог

ООО "Надра Интегрированные решения"

ул. Дубровицкая 28, г. Киев, Украина

E-mail: Kashuba11@mail.ru

E. Солодкий, асп.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко

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

E-mail: Eugeni_Solodkiy@ukr.net

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ГЕОАКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАЗРЕЗОВ НЕФТЕГАЗОВЫХ СКВАЖИН ДДВ ПРИ ОТСУТСТВИИ ИЗМЕРЕНИЙ АКУСТИЧЕСКОГО КАРОТАЖА

Цель статьи оценка возможностей построения геоакустической модели исследуемого разреза горных пород Днепровско-Донецкой впадины в зависимости от доступного комплекса геофизических исследований скважин; – анализ существующих способов и методик прогнозирования параметров геоакустической модели (скорости распространения упругих колебаний в пласте, акустической жесткости исследуемой среды и коэффициентов отражения) при ограниченном комплексе ГИС; – определения точности прогноза названных выше параметров геоакустической модели на примере скважины №6 Свиридовской площади.

Выполнены обработка и интерпретация данных геофизических исследований скважин в исследуемом разрезе. Рассчитан компонентный состав горных пород. С помощью методики построения линейных геоакустических моделей скважин проведено моделирование пластовой скорости и плотности горных пород. В данной работе сделана попытка классификации всех основных способов определения параметров геоакустической модели с помощью данных геофизических исследований скважин. Проанализированы возможности определения пластовой скорости и коэффициентов отражения на основе данных электрокаротажа, нейтронного каротажа и нормальных зависимостей изменения петрофизических свойств горных пород с глубиной (в качестве исходной информации использованы: кажущееся сопротивление пород по данным градиент- и потенциал-зондов, бокового каротажа; пористость, определенная по данным электрокаротажа; показания гамма- и нейтронного каротажа; водородсодержание; глубина залегания исследуемых отложений). Основные результаты проведенных экспериментов сведены в таблицу, где показаны уравнения, которые были использованы для прогноза скоростей, парные коэффициенты корреляции прогнозной и фактической (наблюдаемой) скоростей, а также относительная среднеквадратическая погрешность прогноза скоростей волн, акустической жесткости и коэффициентов отражения. На основе проведенных исследований приведены конкретные рекомендации, касающиеся решения поставленной задачи в зависимости от наличия у интерпретатора данных методов ГИС. Теоретические выводы подтверждены статистическим анализом.

Ключевые слова: геоакустическая модель, пластовая скорость, акустическая жесткость, коэффициент отражения.