Комплексна інформаційна система Інституту ІКНІТ складається з таких модулів: OLTP- та OLAP-модулі системи обліку успішності студентів; система обліку абітурієнтів; програмний комплекс підтримки методичної та наукової роботи інституту; система електронного документообігу та групової роботи в межах деканату та інституту. Архітектура системи та розроблені процедури дозволяють вирішити проблеми подання та опрацювання невизначеностей.

1. Amy C. Brualdi ERIC/AE. Multiple Intelligences: Gardner's Theory. +ERIC/AE Digest Series EDO-TM-96-01, September 1996, http://www.ericae.net/digests/tm9601.htm. 2. Cignoli, R., d'Ottaviano, I. and Mundici, D. (2000): Algebraic Foundations of Many-Valued Reasoning. Kluwer Acad. Publ., Dordrecht. 3. Пасічник В.В., Жежнич П.І., Кравець Р.Б., Пелещишин А.М. Семантично відкриті інформаційні системи // Вісн. Держ. ун-ту "Львівська політехніка". – 1999. – № 383. – С. 73–84. 4. Жежнич П.І. Узагальнення часової реляційної моделі дани. // Міжнар. конф. з індуктивного моделювання МКІМ-2002. – Львів, 2002. 5. Дейт К.Дж. Введение в системы баз данных. – 6-е изд. / Пер. с англ. – К., М., СПб.: Изд. дом "Вильямс", 1999. – 848 с. 6. Шаховська Н.Б Методи усунення невизначеностей у базах знань, побудованих на основі реляційного підходу // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2003. – № 484.

УДК 550.348+531.36

Р. Починайко, О. Федоришин, Є. Струк*
Карпатське відділення Інституту геофізики ім С.І. Субботіна НАН України,
*Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра автоматизованих систем управління

ПРОГРАМНИЙ ПАКЕТ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ КОЛЕКТОРСЬКИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДКЛАДІВ ЗА ДАНИМИ СЕЙСМОРОЗВІДКИ

© Починайко Р., Федоришин О., Струк Є., 2006

Наведено алгоритм оцінки колекторських властивостей геологічних середовищ, який грунтується на математичній моделі трифазної гірської породи.

The algorithm of an estimation collector properties of the geological media, based on mathematical model of three-phase rock is resulted.

Вступ

Основним завданням геофізичної служби в процесі розвідки покладів нафти та газу є визначення пористості, проникності і флюїдовмісту досліджуваного геологічного розрізу. Тому розроблення і реалізація методів математичного моделювання фізичних властивостей гірських порід з метою оцінки пористості, глинистості та інших колекторських характеристик відкладів за даними сейсморозвідки, а також впровадження розроблених програмних засобів у виробництво сприятимуть підвищенню ефективності пошуково-розвідувальних робіт.

Вирішення завдання фізичної інтерпретації даних сейсморозвідки передбачає два етапи: 1) визначення швидкостей поширення та коефіцієнтів загасання шляхом розв'язання оберненої динамічної задачі сейсміки; 2) оцінювання фізико-геологічних характеристик досліджуваного середовища за даними про його пружні та поглинальні властивості. Для розв'язання задачі на першому етапі розроблено матричний метод побудови теоретичних сейсмограм, який дає можливість знаходити швидкості поширення або хвильові опори шаруватих середовищ[1]. У цій роботі розглянуто другий етап.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Виділення порід-колекторів за даними про хвильовий опір досліджуваних відкладів

Найзагальніша модель пористої гірської породи характеризується ефективними модулями пружності *n*-фазного середовища [2].

$$\Lambda^* = \sum_{k=1}^{n} v_k \Lambda_k T_k; \quad \mu^* = \sum_{k=1}^{n} v_k \mu_k T_k, \tag{1}$$

де v_k – обємні частки кожної фази, Λ_k, μ_k – модулі пружності, T_k – функція, що відповідає за геометричну форму кожної фази. В умовах природного залягання шари порід-колекторів чергуються з шарами глин, тому інтервальні швидкості, визначені за даними сейсморозвідки, являють собою усереднені швидкості. Залежно від співвідношення між довжиною хвилі і товщиною шарів середню швидкість можна описувати різними формулами. Так, для товстих шарів матимемо

$$V_{\text{int}} = \frac{V_{kol} V_{gl}}{V_{kol} \eta_{gl} + V_{gl} (1 - \eta_{gl})}. \tag{2}$$

Для тонкошаруватого середовища матимемо

$$V_{\text{int}} = \frac{V_{kol}}{1 - \eta_{gl}} \left[\left(1 + \frac{\eta_{gl}}{1 - \eta_{gl}} \frac{\rho_{gl}}{\rho_{kol}} \right) \left(1 + \frac{\eta_{gl}}{1 - \eta_{gl}} \frac{\rho_{kol}}{\rho_{gl}} \frac{V_{kol}^2}{V_{gl}^2} \right) \right]^{-1/2}. \tag{3}$$

Тут V_{kol}, ρ_{kol} – швидкість поширення поздовжньої хвилі та густина породи-колектора, V_{gl}, ρ_{gl} – те саме для глин, η_{gl} – глинистість, тобто об'ємний вміст глин.

Введемо хвильовий опір як добуток швидкості на густину $\gamma = V\rho$. Тоді після перетворень формул (1) та (3) отримаємо:

$$\gamma_{\text{int}} = \gamma_1 \sqrt{\frac{1 + \nu_1}{3(1 - \nu_1)} \left[\frac{1}{1 + \varphi T_1} + \frac{2}{(1 + \nu_1)(1 - 2\nu_1) + \varphi T_1} \right] \left(1 - \varphi \left[1 - \frac{\rho_2}{\rho_1}(1 - \eta) - \frac{\rho_3}{\rho_1} \eta \right] \right)}, \tag{4}$$

де ν_1 – коефіцієнт Пуассона скелета породи, φ – пористість, ρ_1, ρ_2, ρ_3 – густини скелета, рідини та твердих включень в рідині, T_1 – параметр, що відповідає за геометричну форму порового простору.

Отже, алгоритм прогнозування колекторських властивостей гірських порід грунтується на залежності хвильового опору за формулою (4) і полягає в визначенні середньопластових значень пористості та глинистості між двома відбиваючими горизонтами.

Припустимо, що досліджуваний геологічний розріз – монотипний. Тоді середню пористість можна отримати розв'язавши рівняння (4) відносно φ. Після перетворення (4) отримаємо

$$\varphi^3 + C_1 \varphi^2 + C_2 \varphi + C_3 = 0. \tag{5}$$

Тут

$$\begin{aligned}
&C_1 = \frac{b_1}{b_0}; \quad C_2 = \frac{b_2}{b_0}; \quad C_3 = \frac{b_3}{b_0}; \quad b_0 = \beta \bar{\gamma} \nu' \rho (3\alpha - \nu'' - 2); \\
&b_1 = \beta \bar{\gamma} \nu' [(\nu'' + 2)(2\rho + 1) - 3\alpha(\rho + 1)] - \alpha \bar{\gamma} \rho [\alpha - (\nu'' + 2)] + \beta (1 - \alpha)(\alpha - \nu''); \\
&b_2 = \alpha \bar{\gamma} \nu' (\alpha + 3\beta) - \bar{\gamma} \nu' (\nu'' + 2)[(\alpha + \beta)(\rho + 1) + \beta] - \alpha (\alpha + \beta - \nu'') + \beta \nu'' (2 - \alpha); \\
&b_3 = (\alpha + \beta)[\bar{\gamma} \nu' (\nu'' + 2) - \nu''].
\end{aligned} \tag{6}$$

Ми отримали відносно пористості кубічне рівняння, воно може мати три дійсні розв'язки. Виходячи з фізичного змісту поняття пористості, а також того, що пористість реальних порід не може перевищувати 60 %, з усіх дійсних коренів треба вибрати найменше невід'ємне.

Прогнозування геологічного розрізу за даними про швидкості поширення та загасання поздовжніх і поперечних пружних хвиль

Швидкість поширення поперечної пружної хвилі визначається мінеральним складом породи, геометрією та об'ємним вмістом порового простору і практично не залежить від типу порового

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

флюїда. Це дає змогу за даними поперечних і поздовжніх хвиль оцінювати характер насичення породи рідиною. Використання чотирьох параметрів швидкостей поширення V_P, V_S, та коефіцієнтів загасання α_P, α_S дає можливість визначати чотири незалежні характеристики: пористість, глинистість, структурний параметр та тип заповнювача пор. Для літологічного розчленування розрізу можна використати дані про коефіцієнт Пуассона гірських порід

$$\nu = \frac{(V_P/V_S)^2 - 2}{2\left[(V_P/V_S)^2 - 1\right]}. \tag{7}$$

Прийнято, що для вапняків характерні значення $\nu = 0{,}310 \div 0{,}294$, для доломітів – $\nu = 0{,}294 \div 0{,}260$, для піщаників – $\nu = 0{,}260 \div 0{,}180$.

Для оцінки глинистості η_{gl} використовують зв'язок між глинистістю та коефіцієнтом загасання

$$\eta_{gl} = \left(\alpha_{P,kol} - \alpha_P\right) / \left(\alpha_{P,kol} - \alpha_{P,gl}\right), \tag{8}$$

де $\alpha_{P,kol}, \alpha_{gl}$ – коефіцієнти поглинання в неглинистих колекторах і в чистих глинах.

Проте ця формула не відображає до кінця фізичного змісту поняття поглинання механічної енергії. Вона є справедливою в припущенні, що енергія деформації розподіляється рівномірно між пісчаником і глиною. Однак в механіці деформованого твердого тіла відомо, що енергія деформації в неоднорідних тілах розподіляється пропорційно модулям пружності. Оскільки процес поглинання механічної енергії відбувається в основному за рахунок зсувних деформацій, природно в формулу (8) ввести модулі зсуву всієї породи та її компонентів, тобто

$$\eta_{gl} = \left(\mu_{kol}\alpha_{P,kol} - \mu_P\alpha_P\right) / \left(\mu_{kol}\alpha_{P,kol} - \mu_{gl}\alpha_{P,gl}\right) \tag{9}$$

Середня пористіть та структурний параметр визначаються одночасно за швидкостями *P*- та *S*-хвиль для кожного типу породи окремо шляхом розв'язання системи рівнянь (1). Для знаходження інтервалів залягання глин використовують емпіричну залежність [3]

$$\varphi_{gl} = A_1 \exp\left[-A_2(z + A_3)\right], \tag{10}$$

де A_1, A_2, A_3 – константи, характерні для кожного конкретного району, *z* – глибина. Глибину залягання водонасичених глин можна визначити за збігом пористості, знайденій розв'язанням системи рівнянь (1) та за формулою (10) при $A_1 = 0{,}60; A_2 = 0{,}45; A_3 = 0$.

Для перевірки ефективності методики інтерпретації даних сейсморозвідки було проведено її випробування на результатах лабораторного дослідження зразків піщаників з глибоких свердловин Передкарпаття [4]. Відповідність між лабораторними даними та результатами інтерпретації швидкостй сейсмічних хвиль свідчить про правильність теоретичних положень, покладених в основу методу інтерпретації.

Практична реалізація методики прогнозування колекторських параметрів за сейсморозвідувальними даними

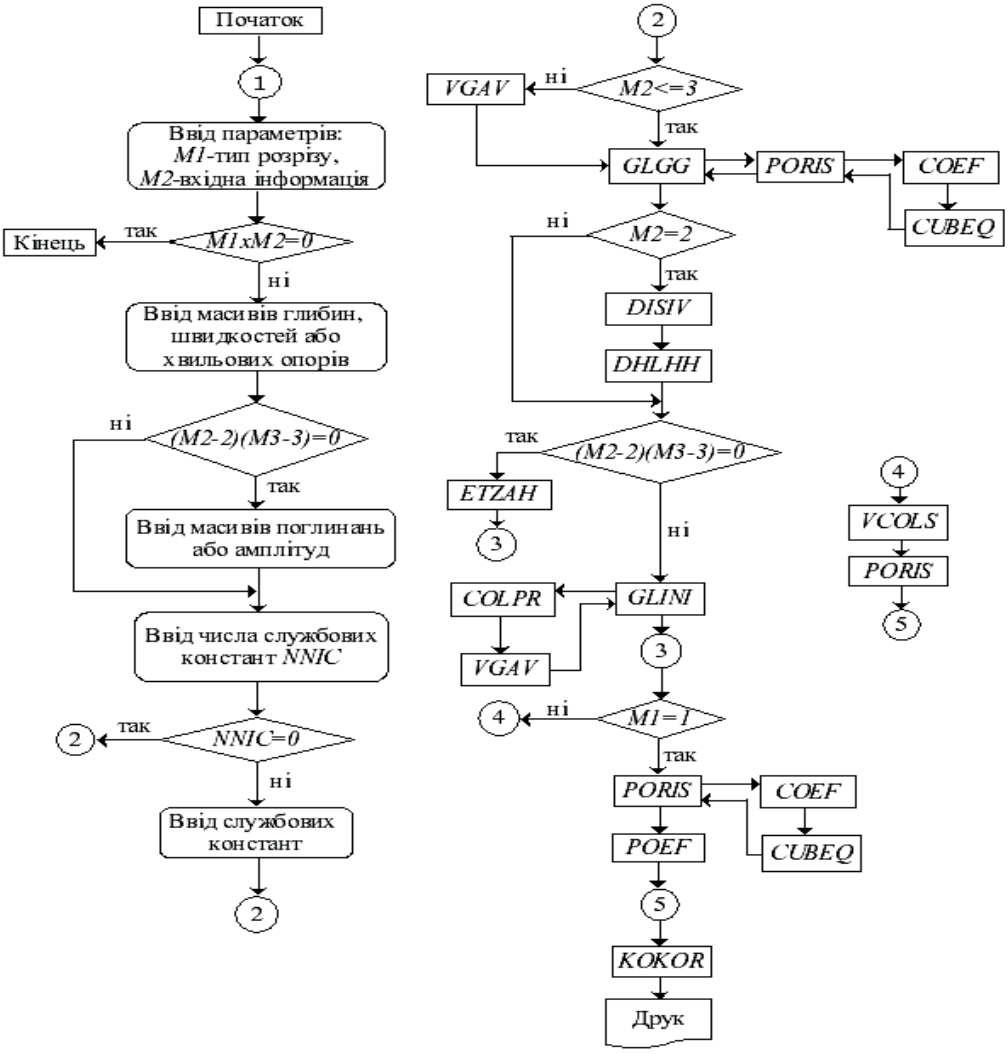
Для числової реалізації викладеного вище алгоритму прогнозування глинистості і пористості відкладів розроблено систему програм FISD2 мовою програмування високого рівня Mathematica-5.2 для персонального комп'ютера типу Pentium-4. Система складається з блоків, які реалізують окремі незалежні частини алгоритму:

1) GLGG – виділення інтервалів залягання чистих неметаморфізованих глин;
2) VGLIN – апроксимація залежності швидкості в глинах від глибини їхнього залягання поліномом оптимальної степені;
3) VGAV – перехід від значень швидкості поздовжніх хвиль до хвильового опору і навпаки;
4) VCOLS – визначення швидкості поздовжніх хвиль в колекторах за рівнянням "середнього часу";
5) PORIS – знаходження загальної пористості в результаті розв'язання рівняння третього степеня;
6) COEF,CUBEQ – визначення коефіцієнтів для рівняння третього степеня та знаходження його коренів;

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

7) GLINI – оцінка глинистості розрізу та меж зміни глинистості;
8) COLPR – розрахунок швидкості поперечної хвилі або відповідного хвильового опору для моделі пористої гірської породи;
9) DISIV – знаходження коефіцієнтів динамічної в'язкості (дисипативної характеристики розрізу);
10) ETZAH – знаходження глинистості за даними про поглинання або амплітуди пружних хвиль;
11) POEF – перерахунок загальної пористості в значення ефективної пористості для тонкошаруватого розрізу;
12) KOKOR – знаходження коефіцієнта взаємної кореляції між інтервальною швидкістю поздовжньої сейсмічної хвилі і коефіцієнтом її поглинання.

Керівна програма FISD2 організує введення-виведення даних і звертання до блоків. Залежно від вхідної інформації керівну програму налагоджують на використання хвильових опорів, швидкостей і поглинання, швидкостей і амплітуд поздовжніх сейсмічних хвиль для тонко- або товстошаруватого розрізу. Для роботи програми використовують константи, характерні для цього району дослідження. Для їх знаходження необхідні дані аналізу кернового матеріалу або акустичного каротажу хоча б однієї свердловини у досліджуваному районі. Результати інтерпретації виводять до файла у вигляді таблиць значень таких параметрів: глибина, хвильовий опір (інтервальна швидкість), загальна пористість глин, швидкість в глинах, глинистість, швидкість в колекторах, ефективна пористість, межі зміни глинистості, коефіцієнти поглинання, амплітуди. У разі інтерпретації даних на деяких глибинах результати можуть бути ненадійними (наприклад, пористість колекторів 80 %). У таких випадках в тих місцях таблиці проставляють зірочки (*). Блок-схему програми FISD2 показано на рисунку.



Блок-схема системи програми FISD2

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Випробування методики на даних сейсморозвідки та вимоги до точності вхідних даних

Випробування методики фізичної інтерпретації проводили на сейсморозвідувальному профілі 86, що перетинає Пинянське газове родовище. Цей профіль проходить через ряд глибоких свердловин, що забезпечує достатньо добру вивченість глибинної будови і колекторських властивостей відкладів. Дані за пісчаністістю та пористістю, отримані в результаті інтерпретації за допомогою програми *FISD2*, зіставлені з результатами буріння та геофізичного дослідження глибоких свердловин [5]. Аналіз показує, що характер зміни графіків прогнозованих значень пісчаністості розрізу і пористості піщаника відповідають дійсності. Загалом отримано задовільну відповідність між прогнозованими і фактичними значеннями колекторських властивостей. Результати дослідженння похибок показали, що для уникнення помилок в фізичній інтерпретації даних сейсморозвідки всі вхідні дані необхідно визначити з точністю 3 %. Максимальної ефективності під час пошуку нафти та газу можна досягнути за допомогою оперативного прогнозування колекторських властивостей геологічного розрізу безпосередньо за даними сейсмічних спостережень. Для успішного розв'язання цієї задачі необхідно створення високоточного методу визначення всіх необхідних пружних і поглинаючих характеристик геологічного розрізу в результаті розв'язання тримірної динамічної задачі сейсміки для моделей неідеальнопружних тіл.

Висновки

Основні результати математичного моделювання, зіставлення теоретичних розрахунків та даних експериментальних лабораторних досліджень свідчать, що розроблена математична модель пористої гірської породи добре описує основні фізичні властивості реальних гірських порід і може бути використана для розв'язання основних задач геофізики.

1. Воробьев А.И. Детальное изучение скоростей при обработке данных по методу ОГТ. – В кн.: Обработка и интерпретация результатов геофизических исследований. – К.: Техніка, 1976. – С. 39–50. 2. Федоришин А.С. Прогнозирование свойств микронеоднородных материалов с различными типами включений // Математичні методи і фізико-механічні поля. – 1999. – Т. 42, № 2. – С. 136–140. 3. Авчян Г.М. Физические свойства горных пород при высоких давлениях и температурах. – М.: Недра, 1972. – 144 с. 4. Вербицкий Т.З., Починайко Р.С., Бойко Б.Д. О возможности оценки коллекторских параметров и характера насыщения горных пород по скоростям P- и S-волн // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1979. – № 5. – С. 327–330. 5. Вербицкий Т.З., Починайко Р.С., Стародуб Ю.П., Федоришин А.С. Математическое моделирование в сейсморазведке. – К.: Наук. думка, 1985. – 275 с.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua