

## ПРОГНОЗ ПРОДУКТИВНОСТІ СКЛАДНОПОБУДОВАНИХ ПОРІД-КОЛЕКТОРІВ НАФТИ І ГАЗУ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ІНВЕРСІЇ ДАНИХ ГДС

Наводиться методика прогнозу продуктивності порід-колекторів за даними ГДС на основі інверсії акустичних даних в структуру пустотного простору та її практична реалізація на прикладі карбонатних горизонтів свердловини №35 Липово-Долинської площі.

**Ключові слова:** порода-колектор; ГДС; прогноз продуктивності.

Прогноз продуктивності складнопобудованих порід-колекторів є дуже важливою та, одночасно, і складною проблемою промислової геофізики. Він базується на оцінці фільтраційно-ємнісних властивостей та структури пустотного простору, які визначаються за комплексом методів ГДС та петрофізики. Наявність відомостей про характер та структуру пустотного простору колекторів дозволяє також вибрати оптимальні способи їх промислових випробувань, введення в експлуатацію, підтримання рівня видобутку тощо.

На кафедрі геофізики геологічного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка протягом 20 років розроблена та удосконалюється методика кількісної оцінки ємнісних властивостей складнопобудованих порід-колекторів за даними ГДС, яка дає можливість визначити структуру пустотного простору порід-колекторів, оцінити перспективність і прогнозувати їх продуктивність [Вишва, Безродна, 2009; Продайвода та ін., 2011].

Алгоритм *прогнозу продуктивності на основі визначення структури пустотного простору* включає в себе такі блоки:

- Ø аналіз бази даних ГДС та вибору початкового наближення параметрів математичної моделі породи-колектора;
  - Ø інверсія даних акустичних досліджень у криву розподілу пустот різних форматів;
  - Ø оцінка типів колекторів та їх перспективності;
  - Ø прогноз продуктивності пластів-колекторів.
- На основі використання бази даних ГДС, після їх стандартної попередньої обробки, формуються вибірки пластів-колекторів кожного з літотипів окремо. Для визначення структури пустотного простору використовуються наступні дані:

- результати стандартної інтерпретації даних методів ГДС (АК, АК<sub>ш</sub>, ГГК<sub>Г</sub>);
- коефіцієнт пористості, що отриманий при інтерпретації даних методу НГК або за комплексом даних ГДС, якщо за даними НГК він визначений неякісно;
- у випадку, якщо інтерпретація здійснюється без попередньої обробки, то використовується весь стандартний комплекс каротажу.

На основі апіорних геологічних та петрофізичних даних виділяють вибірки порід з близькою структурою пустотного простору та вибирають початкове наближення математичної

моделі: пружні параметри матриці породи-колектора і пустотних наповнювачів.

Початкове наближення для параметрів пустотних наповнювачів (швидкість пружних хвиль та густина флюїду чи газу) визначається за узагальненими промисловими даними.

Параметри моделі скелету ( $\Delta T_{\text{ск}}^p$ ,  $\Delta T_{\text{ск}}^s$  та  $\rho_{\text{ск}}$ ) визначаються для окремих вибірок порід за петрофізичними даними чи шляхом інтерполяції в область нульової пористості за допомогою крос-плотів:  $\Delta T_p = f(K_n)$ ,  $\Delta T_s = f(K_n)$ ,  $\rho = f(K_n)$

( $\Delta T_p, \Delta T_s$  – інтервальний час розповсюдження повздовжніх та поперечних хвиль, визначений за акустичними методами,  $K_n$  – пористість за НГК,  $\rho$  – густина, яка визначена за ГГК<sub>Г</sub>). Знайдені параметри використовуються для визначення модулів об'ємного стиснення ( $K$ ), зсуву ( $G$ ) та густини скелета ( $\rho$ ).

Для уточнення параметрів початкового наближення моделі структури пустотного простору (формати пустот та їх концентрація) можуть бути залучені:

- результати вивчення пористості на шліфах керну під електронним або поляризаційним мікроскопом;
- результати петрофізичних досліджень зразків керну, зокрема, швидкості  $V_p$  та  $V_s$ , густина  $\rho$ , пористість  $K_n$ ;
- результати математичного моделювання пружних і акустичних параметрів порід-колекторів з різними типами пустотного простору.

Алгоритм програми *інверсії даних акустичних досліджень* має декілька версій, що дозволяє проводити обчислення даних за швидкостями окремо повздовжніх та поперечних хвиль, за їх співвідношеннями. Передбачена також можливість включення в ітераційний процес параметрів матриці, що особливо зручно при роботі з об'єктами, де не визначалися значення швидкостей поперечних хвиль чи при експресній оцінці колекторських властивостей розрізів при відсутності даних про літологію.

Задача зводиться до визначення концентрації ( $C$ ) пустот окремих форматів ( $\alpha$ ) для кожного пласта-колектора.

*Оцінка типів колекторів та їх перспективності.* Одержані в результаті інверсії набори форматів пустот різних типів відповідають окремим типам порід-колекторів. На основі цього

розраховуються коефіцієнти міжзернової ( $K_{мз}$ ), перехідної ( $K_{пр}$ ), тріщинної ( $K_{тр}$ ), кавернозної ( $K_{кв}$ ) та вторинної ( $K_{вт} = K_{пр} + K_{тр} + K_{кв}$ ) пористості.

На основі аналізу кожного окремого інтервалу досліджень виділяються зони інтенсивної тріщинуватості, кавернозності, ускладнення колекторів тощо, вирізняються інтервали перспективних колекторів. Кінцеві результати визначення структури пустотного простору представляються в таблицях довільної форми чи у вигляді графіків, гістограм по окремих пластах чи вибіркам пластів-колекторів.

Складовою частиною авторської методики є *алгоритм модулю прогнозу продуктивності пластів-колекторів*. В його основі лежать чисельні розрахунки за даними форматів і концентрації пустот параметра питомої площі поверхні пустот  $\omega_s$ , що введений авторами в роботах [Вижва, Безродна, 2009; Продайвода та ін., 2011].

Даний параметр є безрозмірною величиною, що визначається як відношення площі поверхні одиничного сфероїда до площі поверхні пустот різних форматів (розрахованих шляхом інверсії даних ГДС у структуру пустотного простору) і в узагальненому вигляді параметр питомої площі поверхні пустот у дослідженому інтервалі буде

складати  $\omega_s = \sum_{i=1}^N \omega_{si}$ , тобто суму всіх  $\omega_{si}$  для

пустот різних форматів: пор, тріщин і каверн різної конфігурації.

Алгоритм включає:

- аналіз результатів кількісної оцінки структури пустотного простору порід-колекторів;
- узагальнення попередніх результатів вивчення параметру питомої площі поверхні пустот дослідженого родовища за літотипами (при наявності);
- визначення параметру питомої площі поверхні пустот для кожного з виділених пластів колекторів;
- прогнозування продуктивності інтервалів розвитку перспективних колекторів.

Параметр питомої площі поверхні пустот ( $\omega_i$ ) визначається в інтервалах розвитку порід-колекторів за даними, отриманими в попередньому блоці при визначенні структури їх пустотного простору для кожного з інтервалів досліджень.

В роботах [Продайвода та ін., 2011; Вижва, Безродна, 2009] параметр питомої площі поверхні пустот авторами пов'язується з фільтраційними характеристиками, зокрема отримані значущі кореляційні залежності цього параметру із результатами випробування для водо-, нафто- і газонасичених інтервалів, що складені теригенними, карбонатними колекторами та породами кори вивітрювання кристалічного фундаменту. Встановлено, що цей параметр є універсальним і не залежить від літології.

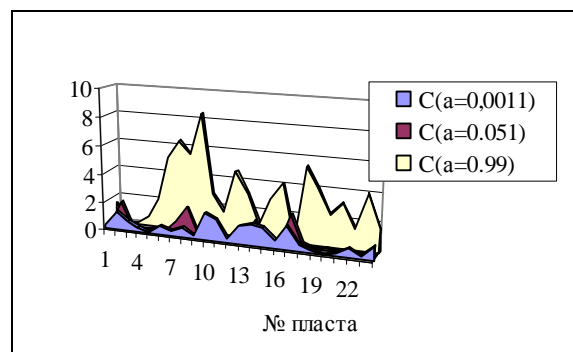
На основі статистичного аналізу значень параметру  $\omega$ , проводиться якісна інтерпретація і уточнюються зони розвитку перспективних колекторів в інтервалі досліджень свердловини. Кількісний прогноз продуктивності пластів проводиться на основі функцій залежностей параметру питомої площі поверхні пустот від притоку флюїдів в пластах відповідних літотипів свердловин дослідженого родовища чи за функціональними залежностями по відповідним літотипам ДДЗ, що визначені авторами в попередні роки (більш як по 150 об'єктах).

На основі проведених наукових досліджень математичних моделей складнопобудованих порід-колекторів, їх структури пустотного простору, якісної та кількісної оцінки введеного параметру питомої площі поверхні пустот для колекторів різної літології та флюїдонасичення, пропонується приклад використання методики прогнозу продуктивності пластів-колекторів.

Авторами проведений аналіз та інтерпретація даних ГДС проблемного інтервалу карбонатних складнопобудованих порід свердловини Липово-Долинська, 35 (інтервал 4650 – 4800 м), що знаходиться в північно-західній частині ДДЗ, на основі використання технології “Геопашук”.

За результатами обробки визначена структура пустотного простору порід та кількісно оцінений вклад пустот різних форматів у загальну пористість (рис. 1).

В результаті обробки встановлено, що пустотний простір вивчених пластів вапняків низької пористості складено міжзерновими порами (67,26 % об'єму всіх пустот при  $\alpha = 0,99$ ), перехідними мікротріщинами і порами (9,25% об'єму всіх пустот при  $\alpha = 0,051$ ), тріщинами (23,49% об'єму пустот при  $\alpha = 0,0011$ ) (рис. 1).



**Рис.1.** Концентрація пустот різних форматів в пустотному просторі порід (сверд. № 35 Липово-Долинської інтервалу 4674 – 4743 м

Серед виділених колекторів за даними інтерпретації виділено 3 групи пластів:

1. перспективні колектори з сильно розвинутою тріщинуватістю (тріщинний (60 % колекторів) і порово-тріщинний (10 %) типи колекторів);

2. менш перспективні колектори з розвинутою вторинною пористістю (тріщинно-поровий тип колекторів – 30 % );

3. неперспективні пласти, які були виділені при попередній обробці як колектори.

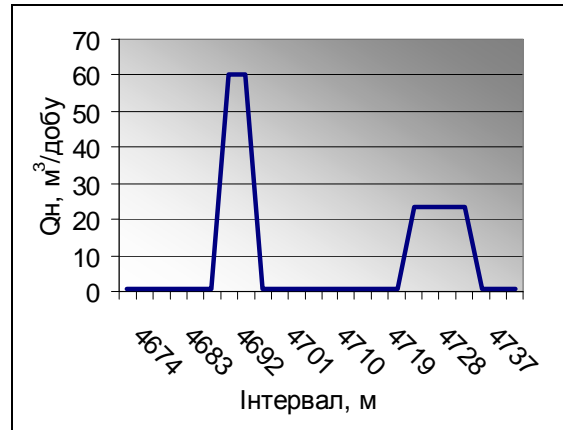
Вторинна пористість грає дуже велику роль при дослідженнях колекторів на нафту і газ. Насамперед, це відноситься до тріщинної пористості, оскільки тріщини забезпечують колекторам високу проникливість, завдяки чому складнобудовані глибокозалагаючі чи низькопористі колектори відносять до перспективних колекторів.

За даними визначення структури пустотного простору пластів-колекторів, за усередненими значеннями функції залежності дебіту нафтонасичених пластів-вапняків свердловин ДДЗ від параметру питомої площі поверхні пустот, отриманими авторами, зроблений прогноз перспективності колекторів – прогноз можливого дебіту пластів при промислових випробуваннях (рис.2).

За результатами визначення структури пустотного простору порід-колекторів розраховано параметр питомої площі поверхні пустот ( $\omega_s$ ), при якісному аналізі якого в дослідженому інтервалі виділено 2 перспективні на нафту інтервали.

В виділених пластах розраховано прогнозні дебіти нафти, які становлять 36 та 64 м<sup>3</sup>/добу. Виділені перспективні пласти-колектори мають сильно розвинуту тріщинуватість (рис. 2). Результат прогнозу підтверджений в Полтавській ЕГДС – при опробуванні інтервалу отриманий приток нафти 33 м<sup>3</sup>/добу.

Розроблена авторами методика може використовуватися при вивченні розрізів промислових свердловин на стадіях від оперативної обробки даних ГДС до підрахунку запасів нафти і газу.



**Рис.2.** Прогноз припливу нафти по свердловині Липово-Долинська № 35 (інтервалу 4674 - 4743 м)

Результати роботи можуть використовуватися при видачі рекомендацій на випробування свердловин та підрахунку запасів по окремим свердловинам та родовищам ДДЗ [Вижва, Безродна, 2009; Продайвода та ін., 2011].

#### Література

- Вижва С.А., Безродна І.М. Оцінка структури пустотного простору колекторів за даними ГДС та петрофізичних досліджень // Вісник Київ. ун-ту, Геологія. – К., в. 47. – 2009. – С. 38-42.
- Продайвода Г.Т., Вижва С.А., Безродна І.М., Продайвода Т.Г. Геофізичні методи оцінки продуктивності колекторів нафти і газу // Вид.-поліграф. центр «Київ. Ун-т». – К. – 2011. – 367 с.

### ПРОГНОЗ ПРОДУКТИВНОСТИ СЛОЖНОПОСТРОЕННЫХ ПОРОД-КОЛЛЕКТОРОВ НЕФТИ И ГАЗА ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНВЕРСИИ ДАННЫХ ГИС

С.А. Выхва, И.Н. Безродна

Приводится методика прогноза продуктивности пород-коллекторов по данным ГИС на основе инверсии акустических данных в структуру пустотного пространства и её практическая реализация на примере карбонатных горизонтов скважины №35 Липово-Долинской площади.

**Ключевые слова:** порода-коллектор; ГИС; прогноз продуктивности.

### PRODUCTIVITY PREDICTIONS OF COMPLEX RESERVOIR ROCKS OIL AND GAS ON THE RESULTS OF INVERSION OF DATA WELL-LOGGING

S. Vygva, I. Bezrodna

Methodology is given estimates of rock-collectors according to the well-logging through inversion of acoustic data in the structure of pore space and its practical implementation on the example of carbonate horizons of well number 35 Lypovo -Dolinska area.

**Key words:** rock-collectors; well-logging; predictions of productivity.

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*