

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕОРІЇ КАТЕГОРІЙ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ БАЗ ЗНАНЬ ПРИ ГЕОФІЗИЧНИХ МЕТОДАХ ДОСЛІДЖЕНЬ НАФТОГАЗОВИХ ОБ'ЄКТІВ

¹І.В.Броновський, ¹Р.Б.Вовк, ²О.В.Юрчишин, ¹В.М.Юрчишин

¹ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42127
e-mail: brun@ukr.net

²НДПІ ВАТ „Укрнафта“, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Пн. Бульвар ім. Пушкіна, 2
e-mail: admin@cndl.ukrnapta.com

Для повышения добычи углеводородов важным является употребление современных методов геофизических исследований. Эффективным инструментом для поддержки принятия решений при геофизических исследованиях является теория категорий, которая позволяет определить свойства множеств не только на основании их элементов, но и на основании их связей с другими множествами. В статье показано применение теории категорий для формирования баз знаний при геофизических методах исследований нефтегазовых объектов.

For the increasing of hydrocarbons booty it is important the invocation of modern methods geophysical researches. Effective tool for supporting a decision making in geophysical researches, is a theory of categories. This theory enables to define properties of plurals not only on the basis of their elements but also on the basis of their connections with other plurals. In this paper it is shown the application of theory of categories for forming knowledge bases in the geophysical research methods of oil and gas objects.

Вступ. Збільшення видобутку є актуальною проблемою в умовах нестачі енергетичних ресурсів. Для ефективного видобутку проводять геологічні, геолого-геофізичні, геохімічні, гідродинамічні дослідження, на основі яких формуються математичні моделі. Ефективним інструментом для дослідження зв'язків між моделями є теорія категорій, яка дає можливість визначити властивості множин не тільки на основі їх елементів, але й на основі їх зв'язків з іншими множинами.

Основою інтерпретації геофізичної інформації є розв'язання оберненої задачі, коли за просторово-часовим розподілом геологічного поля визначають будову і властивості об'єкта, що вивчається. Найбільш відповідальним і трудомістким етапом при цьому є геологічна інтерпретація в процесі якої геофізичну інформацію використовують у поєднанні з даними інших видів спостережень.

Основна частина. Успішний розвиток будь-якої держави зумовлюється не тільки великими запасами природних, в тому числі і вуглеводневих ресурсів, але й розвитком інтелектуального потенціалу та інформаційних технологій [1].

Найскладнішою і найменш розвинутою є кількісна оцінка цінності інформації в процесі прийняття рішення при управлінні процесами пошуку та розвідки нафтових і газового родовища [2]. В найбільш закінченому вигляді інформаційна модель процесів геофізичного дослідження свердловин (ГДС) була сформульована Зверевим Г.Н. [3], суть якої полягала в тому, що з множини факторів виділяють первинні геологічні властивості порід, які визначають їх фізичні і геологічні властивості, зв'язок між цими властивостями встановлюють за резуль-

татами вимірювань в петрофізичних лабораторіях на взірцях керна і описують у вигляді простих петрофізичних моделей M_1 [4].

Другий етап перетворення інформації описується геофізичними моделями M_2 і полягає в переході від фізичних властивостей середовища до геофізичних показників зондів або датчиків приладів на основі теоретичного обґрунтування або фізичного моделювання.

На третьому етапі описуються інструментальні моделі M_3 , тобто процес перетворення сигналів зондів і датчиків свердловинних приладів в геофізичні діаграми, що зареєстровані на поверхні. Моделі M_1 , M_2 , M_3 утворюють пряму інформаційну модель ГДС.

Зворотна інформаційна модель (або процес інтерпретації) включає такі 3 етапи. Початковий етап обробки включає первинну обробку результатів вимірювання і введення апаратних виправлень і являє собою зворотну інформаційну модель $M_4 = M_3^{-1}$. Наступний етап перетворень $M_5 = M_2^{-1}$ — геофізична інтерпретація, тобто перехід від виправлень показників геофізичних методів до оцінки фізичних властивостей геологічного розрізу. На останньому етапі перетворення інформації виконується петрофізична або геологічна інтерпретація $M_6 = M_1^{-1}$, тобто перехід від оцінок фізичних властивостей до оцінки реальних параметрів гірської породи.

Слід зауважити, що відсутність достовірного петрофізичного забезпечення геологічного розрізу, який вивчається, призводить до того, що не всі параметри, які входять в пряму модель, відомі. Крім того, через математичні труднощі не завжди вдається віднайти точне рішення зворотної задачі, що призводить до використання наближених формул і обчислюва-

льних процесів. Часто недостатня інформативність комплексу ГДС і невисока якість початкового геофізичного матеріалу знижує ефективність обробки.

Тому побудова автоматизованої системи інтерпретації ГДС суттєво залежить від можливостей формалізації процесу геофізичних досліджень, що вимагає застосування сучасних інформаційних технологій з використанням баз даних (БД) і баз знань (БЗ) [5].

На основі інформації, одержаної при пошуку і розвідці, після дослідно-промислової експлуатації формується інформаційна модель з підготовки нафтового чи газового родовища до промислової експлуатації. Для прискореного введення родовища в розробку використовують принцип двостадійного проектування [6]. На першій стадії розробки складається технологічна схема розробки. У деяких випадках для великих родовищ приймають план дослідної експлуатації, а на початковій стадії готують принципову схему розробки. Вихідною первинною інформацією для складання технологічної схеми розробки є дані розвідки і підрахунку запасів, результати лабораторних досліджень флюїдів і кернів та дослідної експлуатації розвідувальних свердловин.

Важливим етапом регіональних досліджень з метою уточнення інформаційних потоків в процесі пошуку нафти і газу є геофізичні методи, які включають граві-, магніто-, електро-, сейсмо- і аерофізичну розвідку [7].

Для встановлення зв'язків між різними методами досліджень при уточненні інформаційної моделі доцільно використовувати теорію категорій, яка замість визначення властивостей множини через властивості її елементів (як це прийнято в теорії множин) дає можливість визначати їх, вказуючи зовнішні зв'язки цієї множини з іншими множинами [8, 9].

По кожній розвідувальній свердловині проводять комплексні геологічні, геолого-геофізичні, геохімічні, гідродинамічні дослідження, які дають найбільший ефект для вивчення родовища. Вибір комплексу методів залежить від літологічного складу, колекторських властивостей порід, типу насичуючих флюїдів, складу і особливостей фільтрації промивної рідини в пласті, порядку проведення розвідувальних робіт тощо. Визначення підрахункових параметрів нафтогазонасичених колекторів проводиться за матеріалами геофізичних досліджень свердловин, за результатами вивчення зразків керна, випробування пластів і дослідження їх у відкритому стовбурі чи в обсадній свердловині. На кожному родовищі незалежно від типу покладу бурять базову свердловину із суцільним відбором керна в продуктивній частині розрізу, поінтервальними випробуваннями і широким комплексом стандартних і спеціальних ГДС. Матеріали ГДС є основною інформацією для визначення об'ємним методом балансових і видобувних запасів. Результати лабораторних досліджень керна використовують для розробки петрофізичної основи інтерпретації даних ГДС та обґрунтування достовірності підрахун-

кових параметрів. Для визначення основних параметрів родовищ і пластів важливе значення мають гідродинамічні дослідження. Основна мета глибинних досліджень – одержання даних для складання проектів, контролю за розробкою родовищ. При гідродинамічних дослідженнях визначають параметри, що характеризують відносно великі ділянки пластів-колекторів, що досліджуються, а також технологічні характеристики свердловин (зокрема коефіцієнти проникності, гідропровідності, п'єзопровідності пласта, коефіцієнт продуктивності свердловин), а також уточнюють геологічну будову пласта-колектора, визначають гідродинамічний зв'язок між пластами і свердловинами тощо (рис. 1.).

Результати цих досліджень використовуються при підрахунку запасів і проектуванні розробки покладів нафти і газу. Крім цього, інформація гідродинамічних досліджень спрямована на визначення неоднорідності і ліній виклинювання продуктивних пластів, впливу зміни пластового тиску на колекторські властивості пласта тощо. Якщо позначити через S_T гідродинамічне дослідження, то комутативною буде діаграма, зображена на рис. 2, де: N – визначення однорідності; M – вплив зміни пластового тиску на колекторські властивості пласта.

На стадії розвідки родовищ по всіх розвідувальних свердловинах, що дали промислові припливи нафти або газу, відбираються і досліджуються глибинні проби для визначення тиску насичення, вмісту розчиненого газу, в'язкості, густини, об'ємного коефіцієнта, коефіцієнта стиснення нафти тощо. В ролі гідродинамічних параметрів дослідження ми можемо взяти функцію $g = \bigotimes_{i=1}^6 h_i$, де: h_1 – початковий пластовий тиск; h_6 – депресія на пласт тощо.

На стадії розвідки та дослідної експлуатації родовищ дослідження свердловин методом гідропрослуховування дає змогу уточнити геологічну будову покладу, виявити наявність літологічних лінз і диз'юнктивних порушень в покладі, визначити фільтраційні властивості продуктивного пласта, оцінити герметичність товщі порід-флюїдоупорів, що залягають над продуктивними пластами, встановити місця перетоків рідини із одного пласта в інший.

Як бачимо, застосування кожної з функцій гідродинамічних параметрів досліджень допомагає виявити додаткові властивості структури S_T .

У зв'язку з тим, що розподіл нафти і газу в покладі залежить від його структурних особливостей, зміни літологічного складу і неоднорідності колекторських властивостей порід, достовірною оцінкою запасів нафти значною мірою зумовлюється ступенем вивчення геологічних закономірностей, які можна встановити обмеженою кількістю розвідувальних свердловин, розміщених на всьому покладі.

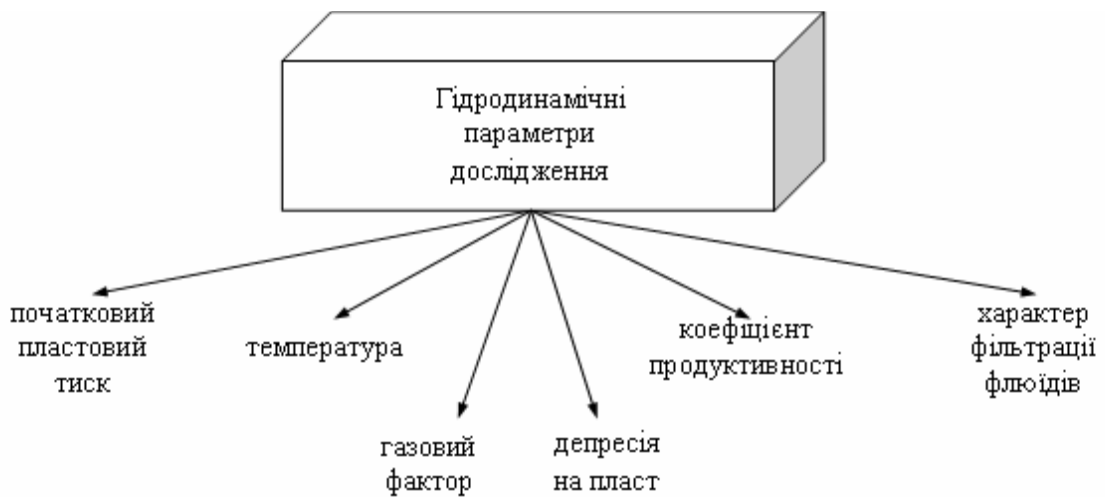


Рисунок 1 — Параметри гідродинамічних досліджень свердловин на стадії промислової розвідки

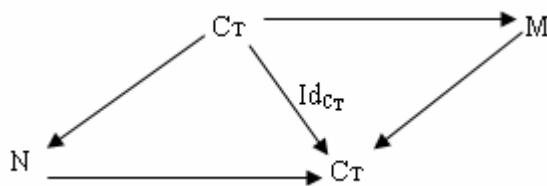


Рисунок 2 — Комутативна діаграма гідродинамічного дослідження

Випереджувальні видобувні свердловини можна також використати для виявлення покладів нафти, розташованих у верхніх частинах розрізу, які були пропущені при розвідці основних нафтових покладів, що залягають нижче.

Важливим резервом приросту запасів нафти і газу на родовищах, що знаходяться в промисловій розробці, є виявлення пропущених в процесі розвідки нафтових пластів. Особливо це стосується пластів, пропущення в карбонатних відкладах, визначення нафтогазонасиченості яких геофізичними методами недостатньо, а суцільний вибір керна не проводився.

Аналіз промислового досвіду фахівців нафтогазової галузі при використанні випереджувальних видобувних свердловин свідчить, що великим резервом для накопичення інформації про запаси нафти і газу може бути осадова товща порід, які залягають нижче від базового горизонту розробки аж до поверхні кристалічного фундаменту. Тому застосування в цьому випадку випереджувальних видобувних свердловин з метою дорозвідки часто призводить до відкриття нових покладів нафти і газу.

Для встановлення остаточної геологічної будови території, що досліджується, з метою оцінки перспектив її нафтогазонасиченості на основі проведених досліджень формуються такі інформаційні графічні моделі: типові літолого-стратиграфічні розрізи, що характеризують будову різних частин осадового розрізу території, яка досліджується, та схеми їх кореляції; геологічні, структурні, тектонічні і геохімічні карти; літолого-фаціальні розрізи по окремих стратиг-

рафічних підрозділах; карти колекторів по окремих регіональних нафтогазових комплексах тощо. На рис. 3 зображено інформаційну модель графічних побудов при пошуково-розвідувальних роботах.

Кarti перспектив нафтогазонасиченості є завершальним етапом побудов, що характеризують нафтогазонасиченість надр. Складається вона на основі узагальнення всіх карт прогнозування нафтогазонасиченості і карт регіонально нафтогазонасиченості комплексів. На такій карті, складеній на тектонічній основі, відображається наступна інформація: 1) великі геоструктурні елементи платформових, перехідних і складчастих територій, до яких належать перспективні нафтогазонасичені області; 2) території виходу складчастого фундаменту з вказанням гіпсометричних позначок; 3) регіональні розривні порушення (встановлені і прогнозовані); 4) виявлені та прогнозовані пастки, сприятливі для формування зон нафтогазонакопичення; 5) виявлені зони нафтогазонакопичення та родовища нафти, газу і газоконденсату; 6) межі виявлених і прогнозних нафтогазонасичених провінцій і областей; 7) сумарні щільності виявлених та прогнозних ресурсів нафти і газу на 1 кв. км території по геоструктурних елементах та окремих блоках; 8) виявлені і прогнозні зони концентрації максимальних ресурсів нафти і газу в різних частинах досліджуваної території.

Нехай E – структурна одиниця (в даному випадку – карта на основі дослідження родовища), тоді інформаційний потік ми можемо представити у вигляді стрілок 1), 2), 3), 4), 5), ... Звідси отримаємо схему інформаційних потоків для структурної одиниці E (рис. 4). Перше наближення моделювання життєвого циклу нафтового чи газового родовища можна спрощено подати у вигляді Set-категорії (рис.5), де $\{0;1\}$ – двоелементна множина, що означає перехід до наступного етапу життєвого циклу родовища, консервації та ліквідації нерентабельних свердловин.

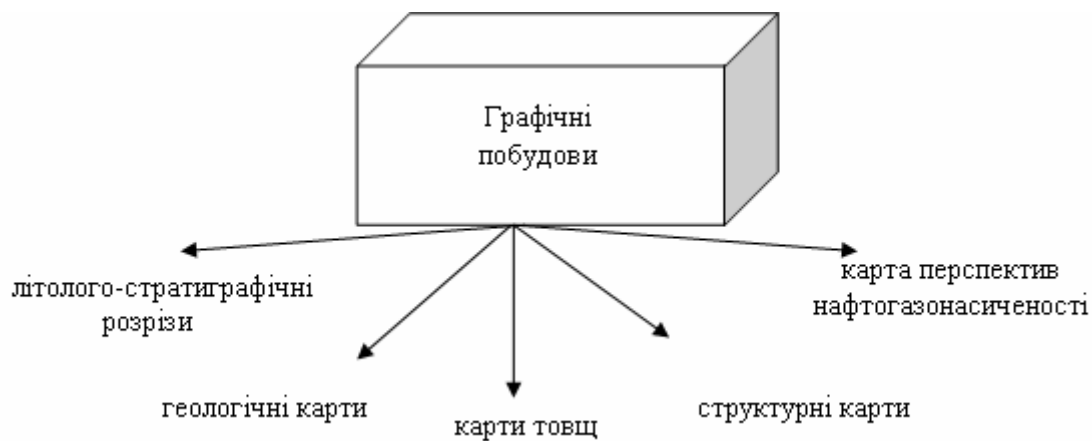


Рисунок 3 — Інформаційна модель графічних побудов при пошуково-розвідувальних роботах

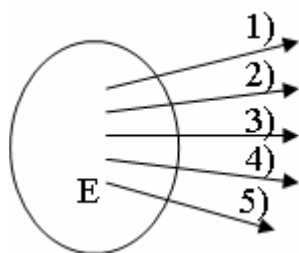


Рисунок 4 — Схема інформаційних потоків для структурної одиниці E

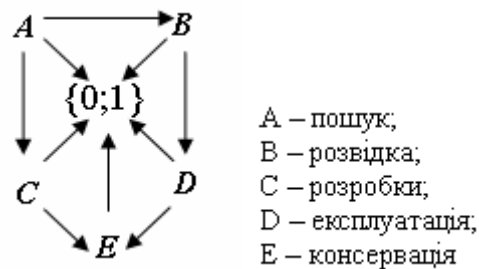


Рисунок 5 — Моделювання життєвого циклу нафтового чи газового родовища за допомогою Set-категорії

Для вивчення резервуарних параметрів покладів із продуктивних пластів та перекриваючих і підстелюючих його порід відбирають kern, що є зразком породи в процесі буріння. Інтервали відбору керна визначають виходячи із ступеня геолого-геофізичної вивченості родовища, кількості, товщини і змінності пластів-колекторів. Для керна визначають: пористість; проникність; нафтонасиченість; вміст зв'язаної води; коефіцієнти витіснення, мінерального, гранулометричного і хімічного складу, пластичності, стиснення, електричного опору, густини, карбонатності, набухання тощо.

Основними завданнями дослідно-промислової експлуатації родовищ є: вивчення геологічної будови родовища або його частини; вивчення закономірностей зміни пластових тисків та температур по площі родовища і в часі, а також визначення допустимих границь їх пониження; вивчення режиму покладу, колекторських і фільтраційних властивостей пласта; дослідження фізико-хімічних властивостей пластових флюїдів; вивчення поведінки насиченого флюїдом колектора для оцінки допустимих депресій без руйнування скелету породи; вивчення інтерференції свердловин і обґрунтування раціональних способів експлуатації видобувних свердловин; перевірка можливих методів впливу на поклад з метою підвищення нафтовилучення та інтенсифікації процесу розробки; визначення динаміки основних показників експлуатації свердловин, випробування технологій розробки з метою вибору найбільш ефективної.

Для вирішення вказаних задач використовують гідродинамічні, геофізичні і лабораторні методи досліджень.

Наприклад, при визначенні акустичних параметрів дослідники використовують модель фіктивного ґрунту, розглядаючи тверду фазу як систему певним чином упакованих кульок з порожнечами між ними. При цьому неоднорідне середовище розглядають як однорідне, що має деякі ефективні пружні параметри. В [10] розроблена спрощена модель для розрахунку швидкостей поширення хвиль в реальних колекторах нафти і газу, обмежене застосування якої полягає в тому, що при формуванні математичної моделі вважається, що зерна мають строго сферичну форму. Отже, між ними є точковий контакт, а в реальних колекторах на контактах зерен, що дотикаються одне до одного, завжди існує певна поверхня, що виникає через наявність цементуючого матеріалу. Отже, результати, які використовуються для інтерпретації даних сейсмічної розвідки при дослідженні літологічного складу і фізичних властивостей (проникність, пористість) порід, є нечіткими, тому виділення нафтогазоносних пластів є наближеним.

Після встановлення основних закономірностей розповсюдження і зміни порід колекторів та флюїдоупорів на основі інформації, яка одержана в результаті буріння опорних і параметричних свердловин приймається рішення щодо обґрунтування підготовки об'єкту для пошукового буріння. Пошук та підготовка до

буріння пасток нафти і газу є важливою стадією геологорозвідувального комплексу, оскільки при цьому створюється фон перспективних локальних об'єктів, що визначає темп освоєння регіону в цілому. Стадія пошуку та підготовка до буріння пасток нафти і газу поділяється на дві підстадії, одна з яких передбачає виявлення об'єктів, а друга — підготовку їх до буріння.

Процес підготовки пошукових об'єктів починається з дослідження геологічної будови маловивчених територій, загальної оцінки перспектив її нафтогазоносності та закінчується виявленням і підготовкою локальних пасток для глибокого буріння. З точки зору теоретико-множинного рівня можна побудувати теоретико-множинну інтерпретацію процесу підготовки пошукових об'єктів.

Підготовка пасток для глибокого пошукового буріння проводиться сейсморозвідкою, а в ряді випадків — іншими геофізичними методами.

Структурні карти, одержані за даними сейсморозвідки, дають змогу вибрати найбільш сприятливі для пошуків нафти і газу розташування пошукових свердловин. Підготовленою до глибокого буріння нафтогазоперспективною структурою вважається геологічний об'єкт, для якого складені структурні карти за маркуючим горизонтом, що дає змогу прогнозувати просторове положення покладу та забезпечує можливість закладання пошукових свердловин. На основі проведених робіт проводиться якісна оцінка ресурсів нафти і газу по категорії D_2 і частково по категорії D_1 .

Основна мета пошукових робіт на цій стадії — встановлення перспективних на нафту і газ об'єктів і підготовка їх до пошукового буріння. Ефективність проведення робіт на цій стадії залежить від результатів раніше проведених регіональних досліджень. Тому на цій стадії проводиться комплекс геологічних, геофізичних, геохімічних і гідрогеологічних досліджень а також бурових робіт [7].

Наступною стадією пошуку є відкриття родовищ нафти і газу або нових покладів на раніше відкритих родовищах. Пошуки покладів здійснюються на весь розріз осадових порід або на технічно можливу глибину буріння, що вимагає додаткового встановлення інформаційних ознак і зв'язків між параметрами на основі теорії категорій.

Висновок. Для формування баз знань при геофізичних методах дослідження нафтогазових об'єктів запропоновано використовувати теорію категорій. Одержано формально-логічні моделі, що дають змогу виконувати класифікацію нафтогазових об'єктів як процесів розробки стратегій пошукового буріння.

Література

1 Маєвський Б.Й. Роль нафтогазової науки в забезпеченні вуглеводневою сировиною // Проблеми нафтогазового комплексу України. — 2002. — С. 5-13.

2 Алиев Т.М., Мамиконов А.Г., Мелик-Шахназаров А.М. Информационные системы в нефтегазовой промышленности. — М.: Недра, 1972. — 240 с.

3 Зверев Г.Н. Дембицкий С.И. Оценка геофизических исследований скважин. — М.: Недра, 1982. — 243 с.

4 Дяконова Т.Ф. Применение ЭВМ при интерпретации данных геофизических исследований скважин. — М.: Недра, 1991. — 220 с.

5 Юрчишин В.М. Використання теорії категорій для опису моделі автоматизованої системи управління життєвим циклом нафтогазового родовища // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. — 2003. — № 2(7). — С. 88-92.

6 Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука. — Київ-Львів, 1996. — 620 с.

7 Дьяконов Д.И., Леонтьев Е.И., Кузнецов Г.С. Общий курс геофизических исследований скважин. — М.: Недра, 1981. — 432 с.

8 Букур Н., Деяну А. Введение в теорию категорий и функторов. — М.: Мир, 1972. — 254 с.

9 Юрчишин В.М. Використання теорії категорій для діагностики свердловин при їх консервації та ліквідації // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету. — 2003. — Вип.1(5). — С. 121-124.

10 Иванкин Б.Н., Карус Е.В., Кузнецов О.Л. Акустический метод исследования скважин. — М.: Недра, 1978. — 320 с.