

ІНФОРМАЦІЙНО-КАТЕГОРІЙНА ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ ТА ОБ'ЄКТІВ НАФТОГАЗОВОЇ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

М.М. Яцишин, В.М. Юрчишин, В.Р. Процюк

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 42127;

e-mail: yatsyshyn@gmail.com

Обґрунтовано напрямок досліджень, проведено аналіз відомих підходів опису об'єктів, процесів нафтогазової предметної області, які ґрунтуються на застосуванні математичного аналізу і класичних підходів до побудови баз даних, баз знань, експертних систем. Дані засоби адекватно працюють з чітко структурованими, однозначними та несуперечливими даними, але для опису деяких об'єктів та процесів ми не володіємо інформацією з такими властивостями. Теоретично обґрунтовано застосування формально-логічного апарату теорії категорій, які дозволяють описувати об'єкти не тільки кількісно, але і якісно. Такі характеристики теорії категорій дають змогу будувати моделі інформаційних потоків слабкоструктурованих даних, які описують поведінку інформації про об'єкти та процеси.

Побудовано інформаційно-категорійну модель потоку даних з використанням предикатних схем для опису об'єктів нафтогазової предметної області, зокрема життєвого циклу родовища. Здійснено інформаційно-категорійну інтерпретацію процесу прогнозування відкладання неорганічних речовин вздовж стінок свердловини під час видобування газу. Формалізовано, та обґрунтовано перелік та пріоритет основних параметрів, які дають змогу описувати процес прогнозування покладів геотермальних вод у межах виснажених нафтогазових родовищ.

Ключові слова: нафтогазова предметна область, слабкоструктуровані дані, предикатні схеми, теорія категорій, неорганічні речовини, геотермальні води, інформаційно-категорійна модель.

Обосновано направление научных исследований, проведен анализ известных подходов к описанию объектов и процессов нефтегазовой отрасли, использующих математический анализ и классические подходы к построению баз данных, баз знаний, экспертных систем. Эти средства адекватно работают с четко структурированными, однозначными и непротиворечивыми данными, однако для описания некоторых объектов и процессов мы не располагаем информацией с такими свойствами. Теоретически обосновано применение формально-логического аппарата теории категорий, позволяющего не только количественное, но и качественное описание объектов. Характеристики этой теории позволяют построение модели информационных потоков слабоструктурированных данных, описывающих поведение информации об объектах и процессах.

Построена информационно-категорийная модель потока данных с использованием предикатных схем для описания объектов нефтегазовой предметной области, в частности жизненного цикла месторождения. Проведена информационно-категорийная интерпретация процесса прогнозирования отложения неорганических веществ по стволу скважины при добыче газа. Формализован и обоснован перечень и приоритет основных параметров, позволяющих описывать процесс прогнозирования залежей геотермальных вод в рамках истощенных нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: нефтегазовая предметная область, слабоструктурированные данные, предикатные схемы, теория категорий, неорганические вещества, геотермальные воды, информационно-категорийная модель.

The research direction is grounded. The analysis of the approaches towards object description, oil-and-gas object sphere processes based on mathematical analysis utilization, classic approaches towards construction of databases, knowledge databases, and expert systems have been conducted. The given means adequately process accurately structured, single-valued, and non-discrepant data, but in order to provide some objects and processes description we do not have the information with needed characteristics. The utilization of the formal and logic apparatus theory of the categories that allow describing objects not only quantitatively but also qualitatively has been theoretically grounded. Such theory characteristics provide an opportunity for constructing information flow models of the poorly structured data that describe the behavior of the objects and processes information.

The informational and categorial model of the data flow with the utilization of the predicate charts for oil-and-gas objects sphere description and, in particular, the deposit life cycle description has been created. The informational and categorial interpretation of the forecasting processes of non-organic substances deposition in a well bore during gas extraction has been conducted. The enumeration and priority of the main characteristics that allow describing of the forecasting process of geothermal waters deposition within exhausted oil-and-gas fields have been formalized and grounded.

Keywords: oil-and-gas object sphere, poorly structured data, predicate schemes, theory of categories, non-organic substances, geothermal waters, informational and categorial model.

Вступ

Пошуки, розвідка, розробка та експлуатація нафтогазових родовищ неможлива без впровадження нових інформаційних технологій для організації систем збору, зберігання та від-

повідної обробки не тільки кількісної, але й якісної інформації з метою підтримки прийняття рішень фахівцями при управлінні життєвим циклом нафтогазового родовища. Цим пояснюється низька інтенсивність наукових досліджень у даній області, зумовлена низьким рів-

нем формалізації знань і обмежена можливість застосування математичних моделей.

Важливість проблеми прийняття рішень на етапах пошуку, розвідки, розробки та експлуатації нафтогазових родовищ зумовила високий та постійний інтерес до цієї області досліджень.

Вибраний напрям досліджень актуальний і тим, що орієнтацію зроблено на раціоналізацію та інтенсифікацію інтелектуальної діяльності фахівця нафтогазової галузі в процесі прийняття рішення на всіх етапах життєвого циклу нафтогазового родовища, з обґрунтуванням і вибором напрямів та методик освоєння родовищ, проектуванням і реалізацією їх розробки, експлуатацію свердловин [1, 2].

Аналіз відомих підходів опису нафтогазової предметної області

На даний момент проблема подання інформації вважається однією з основних в нафтогазовій галузі, оскільки на початкових етапах впровадження обчислювальних машин у центрі уваги спеціалістів були питання щодо створення програм, які виконують процедуру обчислень, алгоритм моделювання, а структуризація, подання інформації була справою вторинною.

Створення і використання баз даних і гнучких систем керування автоматизованих робочих місць дали змогу накопичити великі об'єми геологічної, геофізичної, геохімічної інформації. Оскільки нафтогазова галузь характеризується значною розгалуженістю і складною структурою, то інформаційні потоки повинні постійно нарощуватися в у сховищах даних. Локальні бази даних, що створювалися у детально вивчених районах під час пошуково-розвідувальних робіт, потрібно систематизувати за результатами буріння відповідних свердловин і використовувати при формуванні необхідних баз знань.

В результаті впровадження нових інформаційних технологій стало зрозуміло, що в нафтогазовій справі доводиться мати справу з більш складними інформаційними структурами (оцінка запасів вуглеводнів на значних глибинах з прогнозуванням їх поширення, виявленням фазового і хімічного складу; вивчення фільтраційно-ємнісних можливостей глибоко-залегаючих горизонтів у різних геологічних умовах; геолого-економічне обґрунтування нижньої межі дебіту нафтових і газових свердловин в різних геологічних умовах; розробка наукових і фізичних основ методів підвищення нафтогазоконденсатовіддачі пластів), для подання яких необхідно принципово нові методи. Слабка структурованість даних нафтогазової предметної області, яка характеризується складністю топології інформаційних потоків, багатомірністю об'єктів (за кількістю складових елементів і функцій), високим рівнем взаємозв'язку і параметричним взаємовпливом елементів, є причиною через яку при аналізі і синтезі інформаційних потоків виникає ряд принципових труднощів методологічного характеру,

зокрема із нагромадженням, збереженням інформації, а також необхідність її експертизи.

При розробці і впровадженні інформаційної системи в нафтогазовій галузі необхідно враховувати такі фактори: аналіз контингенту користувачів; аналіз типу задач, які буде виконувати інформаційна система; оцінка можливості утворення такої системи; аналіз організації (підрозділу), який буде використовувати систему; аналіз роботоздатності інформаційної системи загалом.

Користувачі можуть мати різні цілі, що може призвести до конфліктної ситуації при обробці інформації. Звичайно, безпідставно складати список цілей для кожного користувача, однак чи доцільно продовжувати розробку інформаційної системи, якщо не досягнута загальна згода відносно цілей використання інформаційної системи?

Однією з сучасних форм організації інформаційної системи є банк даних (БнД), що є організованою певним чином базою даних (БД), програмних, технічних, мовних, організаційно-методичних засобів, які призначені для централізованого накопичення і колективного багатоцільового використання.

Значні капіталовкладення необхідні для проведення бурових робіт, а специфіка їх технології стимулюють першочергове створення інформаційних потоків саме в цій підгалузі для проведення на їх основі техніко-економічного аналізу. Формування інформаційних потоків для розробки банку даних вимагає вирішення таких питань: забезпечення адекватного за змістом та часом відображення реального стану відповідного нафтогазового об'єкту (родовища, свердловини, трубопроводу, нафтобази, газосховища); опрацювання внесених даних в БД в інтересах користувача на різних рівнях ієрархії; підтримання баз даних, які потім увійдуть до банку, в працездатному стані.

Тобто, до банку даних висуваються такі вимоги: одноразове введення даних в систему, багаторазове їх використання, мінімум дублювання, можливість розширення і оновлення, швидкий доступ до даних і їх захищеність, інтеграція даних для використання різних потреб статистики. Структурним елементом бази даних є сукупність даних, які використовуються в автоматизованій системі управління даними, що організовані за певними правилами, та передбачають загальні принципи опису, зберігання і маніпулювання незалежно від прикладних програм. БД включає сукупність взаємопов'язаних інформаційних масивів, що описують предметну область, а також відношення між масивами.

Подання знань є процесом структурування предметних знань з метою полегшення пошуку рішення задачі. Характер і зміст методологічного підходу утворення баз знань (БЗ) для інформаційних систем, що впроваджуються в нафтогазовій галузі, обумовлюється двома основними групами факторів: по-перше, призначенням і конкретною цільовою спрямованістю створеної БЗ; по-друге, наявними теоретични-

ми здобутками та практичним досвідом, можливістю його застосування для створення ефективного інструментарію інтелектуальної підтримки прийняття рішень при управлінні життєвим циклом нафтового родовища.

У сучасних інформаційних системах найчастіше використовуються три найважливіших методи подання знань: правила продукцій, семантичні мережі, фрейми. Звичайно, що чим більше об'єктів і підоб'єктів у довільній категорії, тим складнішою і розгалуженішою буде структура зв'язків, визначених різноманітними правилами.

При підтримці прийняття рішення для управління життєвим циклом нафтогазової галузі подання знань тільки у вигляді семантичних мереж виявлялося не завжди ефективним. В класичних семантичних мережах взаємодія між фрагментами знань виражається за допомогою посилань за прямою адресою. Прагнення розробити подання, що поєднує в собі переваги декомпозиції, характерні для семантичних мереж, і взаємодії, які присутні в продукційних моделях, призвело до виникнення фреймових моделей подання знань. Під фреймом розуміємо мінімальну структуру інформації, необхідної для представлення класу об'єктів, явищ або процесів. Кожен виділений об'єкт нафтогазової предметної області має певні характеристики та властивості.

Інформаційними системами, які використовують бази знань, є експертні системи (ЕС). Але під знаннями вважають факти, інформацію та чітко і об'єктивно встановлені відомості. В слабоструктурованих предметних областях, для яких і призначені слабкодіагностичні системи, доцільніше говорити про базу знань, що відображає досвід, інтуїцію експерта, надбані ним в результаті життєвої практики. В БЗ можна вносити уточнення, накопичуючи досвід, неперервно перевіряти базу знань, коригуючи їх.

Таким чином, недостатньо вирішеною є проблема опису об'єктів та процесів нафтогазової галузі, які характеризуються слабкою структурованістю, нечіткістю та суперечливістю.

Метою та завданням даного дослідження є: інформаційно-категорійний опис потоку даних, які характеризуються слабкою структурованістю, суперечливістю та неоднозначністю; опис кількісних і якісних характеристик інформаційних потоків; формально-логічне подання даних, які характеризують життєвий цикл родовища, процес прогнозування відкладення неорганічних речовин у стовбурі свердловин, процес прогнозування наявності геотермальних покладів на виснажених нафтогазових родовищах.

Теоретичне обґрунтування використання теорії категорій для опису слабкоструктурованих об'єктів та предметних областей

Теорія категорій є відносно новою і дуже потужною формою математики, яка володіє потенціалом для забезпечення ефективної та

природної формалізації об'єктів з використанням баз даних. Однією з основних можливостей теорії категорій є її здатність поєднувати діаграмний формалізм, як в геометрії, так і символічні позначення, як в алгебрі. В комп'ютерній науці, діаграми є поширеним способом оволодіння складністю і символічні позначення використовуються для доказу та обчислення. Даний підхід до моделювання використовує категорії інтуїтивної форми як основні математичні структури, і чітко розмежування між іменами і значеннями. Моделі можуть бути більш загальними, використовуючи формальні категорії як опис типу структури. Багатофункціональність засобів в теорії категорій зручно використати для формалізації картографій між різними структурами.

На основі проведеного аналізу встановлено, що ідеальний формалізм є природним, тобто вказує на нові області й засоби та використовує мінімальне число конструкцій в ортогональній формі, і заснований на стандартній математиці.

В даному дослідженні розвинута формалізація нафтогазової предметної області, яка була започаткована у роботах [3], на основі введення ідеї категорійної специфікації даних запропонованих в [4 – 6].

Інформаційно-категорійний опис об'єктів нафтогазової предметної області

Досвід розробки інформаційних систем для нафтогазової галузі свідчить, що формування і узгодження з замовником технічного завдання на проектування системи не є достатньою умовою для успіху в розробці системи з точки зору її практичної цінності. Це пов'язано з цілим рядом причин, серед яких, насамперед, слід назвати такі: різноманітність в термінах, які вкладаються у визначення і поняття технічного завдання замовником і розробником при формуванні баз знань; моральне старіння розробки за час її реалізації, а також одночасна зміна вимог замовника; невідповідність рівня комунікаційних, інформаційних і розрахункових послуг статусу користувача; небажання користувача перенавчатися новим методам роботи; відчуженість користувача від ідеології побудови інформаційної системи і можливість обходитися без її послуг; психологічна засторога користувача щодо можливості потрапити під диктат інформаційної системи з втратою самостійності суджень і прийняття рішень [7].

З практичної точки зору доцільно розглядати інформаційну систему не тільки як систему впорядкованих відомостей про об'єкт, але й як інструмент для прийняття рішення. При розробці баз даних в нафтогазовій галузі, яка включає в себе визначення та обґрунтування предметної області, обґрунтування переліку змінних і можливої структури їх відношень, доцільно інтегрувати її з експертною системою, що відображає семантичну структуру зв'язків змінних в нафтогазовій предметній області згідно з сформульованими цілями.

При цьому важливим є процес абстрагування відносно даних, що описують нафтогазову предметну область, яка полягає у застосуванні таких типів абстракції, як класифікація, узагальнення і агрегація та призводить до ієрархії типів з відповідними об'єктами і операціями маніпулювання: типом відношення, кортежем, атрибутом і елементарними даними типу цілих, дійсних, символічних тощо.

З метою розробки і обґрунтування методів і засобів формування опису інформаційного середовища у вигляді моделі, яка відображає різні цілі користувача при інформаційному моделюванні, необхідно вирішити такі задачі: дослідити і описати відмінності між системою знань та інформаційною моделлю предметної області, що представлені в інтелектуальних інформаційних системах; визначити місце інформаційної моделі предметної області в інформаційному моделюванні, а також моделюючи можливості ЕОМ в аспекті реалізації інформаційного забезпечення; в) розробити методи виведення інформаційних моделей за запитом користувача відповідно до його інформаційних потреб.

У процесі інформаційного моделювання необхідно приводити моделі нафтогазової предметної області у відповідність з індивідуальними особливостями фахівця нафтогазової галузі. Користувач має свої власні внутрішні моделі знань як про нафтогазовий об'єкт, яким він керує, так і відповідні виходи з інформаційного середовища. Користувач спирається на ці моделі, коли йому необхідно що-небудь спланувати або передбачити в процесі пошуку, розвідки чи розробки нафтогазового родовища. Інформаційна модель найбільш пристосована для опису роботи фахівця, оскільки від користувача вимагається, перш за все, знання предметної області, а не знань специфіки програмування або знання формальної теорії. Інформаційні моделі допомагають зрозуміти і передбачити дію людини після прийнятого рішення.

Введемо категорійну інтерпретацію нафтогазової предметної області на основі предикатних схем.

Означення 1: Категорійною специфікацією даних (К-специфікацією), згідно [4], вважатимемо трійку (C, M, F) , де:

1. C – скінченна категорія;
2. M – скінченна множина об'єктів в C ;
3. $F : C_0 \rightarrow FinSet$ – функтор, де C_0 є дискретною категорією, множина об'єктів якої є множиною об'єктів C .

Означення 2: Предикатною схемою на множині унарних предикатів Π згідно з [5] вважається об'єкт $\eta = (B^{(\eta)}, R^{(\eta)}, f_1^{(\eta)}, f_2^{(\eta)}, n^{(\eta)})$, де кожному елементу приписаний відповідний предикат $(n : B^{(\eta)} \cup R^{(\eta)} \rightarrow \bar{I})$, B – множина вершин, R – множина дуг а f_1 і f_2 – функції, які для кожної дуги визначають її початок і кінець.

Означення 3: Моделлю К-специфікації даних для нафтогазової предметної області вважатимемо трійку (M, ψ, \bar{I}) де:

1. $M : C \rightarrow FinSet$ є функтором, для якого кожний $\mu \in M$ є монострілкою;
2. $\psi : M \circ I \rightarrow F$ – природне відображення, де $I : C_0 \rightarrow C$ є включенням.
3. Π : предикатна схема задана на M .

Категорія C специфікації найчастіше задається графом та множиною рішень, яка визначається співпаданням предикатних схем.

Нехай C – дискретна категорія з двома об'єктами ($C = \{\text{КОЛЕКТОР}, \text{РОДОВИЩЕ}\}$).

РОДОВИЩЕ – це один або декілька продуктивних горизонтів або площ, з близькими характеристиками та спільними геологічними умовами, які розробляються одним фондом свердловин.

КОЛЕКТОР – це резервуар для нафти, газу чи води, який має певні фільтраційно-ємнісні характеристики, які потенційно дозволяють утримувати чи проводити продукцію.

Ця специфікація свідчить, що предметна область, яку ми хочемо формалізувати, складається з двох видів сутностей. Стрілки в категорії встановлюють існуючі залежності (рис. 1).



Рисунок 1 – Предикатна схема родовища на початковому етапі розвідки

Оскільки стрілка є функцією в моделі, то це відповідає тому, що кожен КОЛЕКТОР належить до певного РОДОВИЩА.

Першоджерело з n стрілками в категорії можна подати як n -арне мультивідношення (рис. 2):

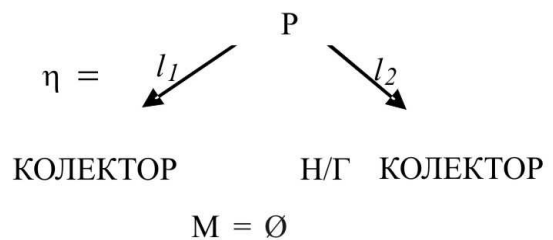


Рисунок 2 – Предикатна схема родовища на початковому етапі розробки

Ця специфікація свідчить, що ПАРАМЕТРИ $P = \{\text{польові та промислові геофізичні дані і аналіз керну}\}$ є мультивідношення між КОЛЕКТОРОМ і Н/Г КОЛЕКТОРОМ: кожному об'єкту типу ПАРАМЕТРИ відповідає пара (x, y) , де x типу КОЛЕКТОР, y – Н/Г КОЛЕКТОР. Можливий такий варіант коли різним об'єктам типу ПАРАМЕТРИ відповідає однакова пара. Наприклад, Н/Г КОЛЕКТОР може визначатися за різним набором параметрів.

Розглянемо просте мультивідношення (без повторень) (рис. 3):

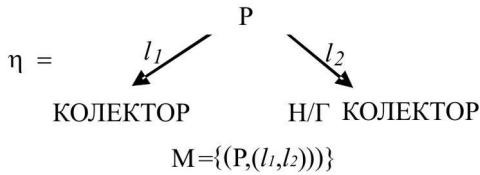


Рисунок 3 – Предикатна схема оконтуреного родовища на початковому етапі розробки

Тут ми бачимо, що КОЛЕКТОР та Н/Г КОЛЕКТОР (нафтогазовий колектор) пов'язані тільки через однакові набори ПАРАМЕТРІВ. При l_1 – характеристики аналізу гравіметричної, магнітометричної, сейсмометричної розвідки та електророзвідки; l_2 – характеристики геофізичних досліджень свердловин та геологічних досліджень.

Для дотримання точності введених визначень на C введемо обмеження (рис. 4):

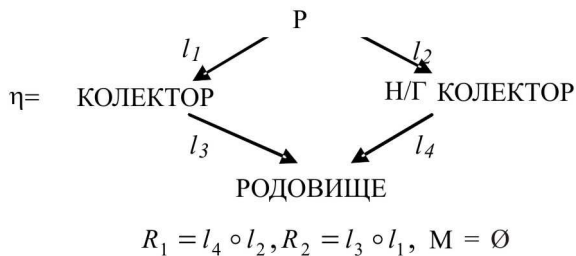


Рисунок 4 – Предикатна схема родовища з даними про кількість запасів

Ця специфікація свідчить, що КОЛЕКТОР і Н/Г КОЛЕКТОР можуть визначатися через ПАРАМЕТРИ, якщо вони належать до одного родовища. Такий вид конструкцій часто використовується на практиці. Якщо за мітки l_1, l_2 взяти попередні твердження, то l_3 – характеристики опору пласта, пористості пласта, аналізу географічного розміщення, проникності пласта; l_4 – характеристики пористості пласта визначених з аналізу керну, геофізичної розвідки, аналізу географічного розміщення. На основі даних тверджень інтерпретація композиції R_1 і R_2 набудуть вигляду: R_1 – обмеження для характеристик геологічної розвідки, опору пласта; R_2 – обмеження для характеристик пористості пласта, аналізу геофізичної розвідки.

В попередніх прикладах функтор F був сталим: $F = \text{const}$ (рис. 5).

Функтор F означений на малюнку пунктирною стрілкою. Якщо з вузла графа існує лінія до скінченої множини, то це визначає функтор F для даного вузла. Тобто $F(\text{Н/Г КОЛЕКТОР})$ є множиною {нафтовий, газовий, нафтогазовий колектор}. Якщо від вузла n немає пунктирної лінії, то $F(n)$ є порожньою множиною. З вище означеним функтором F ми можемо зв'язати множину P з скінченою множиною параметрів, які характеризують КОЛЕКТОРИ. На даному етапі розвитку науки [8] відомо досить багато факторів, не пов'яза-

них між собою, які прогнозують колектор: сейсморозвідка, електророзвідка, гравірозвідка, акустична розвідка, аналіз керну, якісний та кількісний склад наявних вуглеводнів.

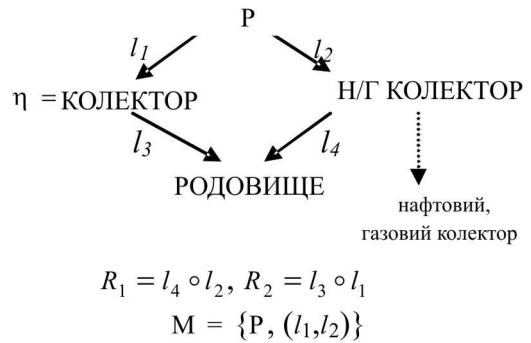


Рисунок 5 – Предикатна схема родовища з інформацією про газовий чи нафтовий характер родовища

Розглянемо специфікацію (рис. 6):

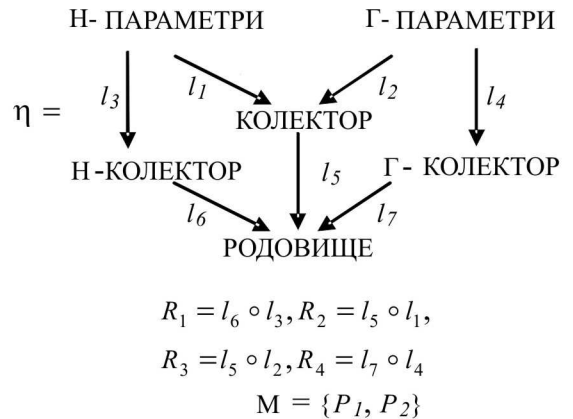


Рисунок 6 – Предикатна схема родовища з інформацією про компонентний склад вуглеводнів

Тут: $P_1 = \{\text{нафтові параметри}\}$, $P_2 = \{\text{газові параметри}\}$; l_1 – характеристики насиченості пласта, аналізу геологічної будови, опору пласта; l_2 – характеристики насиченості пласта, проникності пласта, аналізу акустичної розвідки; l_3 – характеристики нафтонасиченості пласта, аналізу керну пласта, аналізу геолого-геофізичної розвідки; l_4 – характеристики газонасиченості пласта, аналізу геологічної розвідки, аналізу термобаричних умов пласта; l_5 – характеристики аналізу географічного розміщення, аналізу керна, пористості пласта; l_6 – характеристики аналізу запасів, пористості пласта, аналізу зразків порід по відкладах, аналізу електророзвідки, газового фактора; l_7 – характеристики аналізу запасів, пористості пласта, аналізу акустичних досліджень свердловин, аналізу складу вуглеводнів.

За умови вірності попередніх тверджень, композиції (обмеження) в інтерпретації предметної області набудуть вигляду: R_1 – обмеження для характеристик аналізу геофізичних досліджень свердловин з використанням акустичних досліджень, аналізу керну; R_2 – обмеження для характеристик емнісно-фільтрацій-

них характеристик пласта за геофізичними та геологічними дослідженнями; R_3 – обмеження для характеристик газонасиченості і пористості пласта; R_4 – обмеження для характеристик аналізу термобаричних умов, газового фактора.

За допомогою даної специфікації ми наводимо приклад, як за рахунок поділу даних про прогнозоване родовище за об'єктами точніше спрогнозувати географію розташування, глибину залягання, потужність, якісний склад родовища.

Вище наведено набір даних, які ми об'єднуємо під категорією ПАРАМЕТРИ. Розглядаючи їх можемо визначити наявність колектора чи нафтогазоносного колектора. Параметрами, які характеризують нафтові і газові колектори, можуть бути дані про аналіз керну, газонасиченість, термобаричні дані, дані геологорозвідувальних свердловин.

Інформаційно-категорій інтерпретація прогнозування відкладення неорганічних речовин вздовж стовбура свердловини

Формалізуємо процес утворення неорганічних відкладень вздовж стовбура свердловини в процесі видобування газу [9].

Експлуатація газових і газоконденсатних родовищ, особливо на пізніх стадіях розробки, супроводжується появою в продукції свердловин пластової мінералізованої води, що стає причиною ускладнень, пов'язаних з утворенням і відкладенням неорганічних речовин у стовбурі свердловин, що розробляються, у трубопроводах і промислового обладнанні. Накопичення солей призводить до зменшення поперечного перерізу, закупорювання труб і обладнання, зниження колекторських властивостей пласта і, як наслідок, зупинки видобутку газу практично на всіх родовищах, які розробляються [10].

Аналіз існуючих підходів, які висвітлюють проблему утворення відкладів неорганічних речовин у стовбурі свердловини, дає підстави зробити висновок, що проблема ця існує, її намагаються вирішити, але тільки для окремих неорганічних речовин. Оскільки більшість родовищ на території України знаходяться на пізніх стадіях розробки, то проблема прогнозування неорганічних відкладень вздовж стовбура свердловини має і економічний підтекст.

Впровадження нових інформаційних технологій на базі мікропроцесорних систем в нафтогазовій галузі дає можливість суттєво змінити економіко-екологічний підхід до експлуатації свердловин на пізніх стадіях розробки.

При експлуатації газових і газоконденсатних родовищ з появою в продукції свердловин пластової мінералізованої води виникають ускладнення, пов'язані з утворенням і відкладенням неорганічних солей у стовбурах видобувних свердловин. Крім того, пластові води можуть змішуватися з вуглеводнями. Усе це робить склад сполуки пластових вод настільки складним, мінливим і невизначеним, що важко встановити середній показник цієї сполуки, тим

більше, що надійних і повних аналітичних досліджень майже не проводять.

Аналіз інформаційних потоків свідчить, що основними причинами відкладення солей є контактування хімічно несумісних вод (змішування пластових вод різних горизонтів або пластових вод з конденсаційною водою); зміна термодинамічних умов (температури і тиску); зміна гідродинамічних умов (зниження швидкості руху газорідного потоку в ліфтових трубах і промислових комунікаціях); вміст солі у супутних пластових водах (концентрація солей).

Крім того, на процес утворення сольових відкладень впливають: електричне поле; органічні складові; склад емульсії в свердловині; матеріал поверхні обладнання і склад пристінних шарів рідини; склад хімічних реагентів, які використовуються при видобуванні газу, газового конденсату (метанол, соляна кислота тощо).

Важливою є проблема формалізації процесу поводження хімічного складу пластових вод, які транспортуються стовбуром свердловини за різних термодинамічних умов.

Проведений аналіз свідчить, що фізичні та хімічні аспекти процесу кристалізації солей у стовбурі експлуатаційної свердловини є достатньо дослідженими, але для переходу до прогнозування кристалізації багатокомпонентних неорганічних розчинів розглянемо спочатку можливість розробки формально-логічної математичної моделі для контролю та управління кристалізацією однокомпонентних солей у стовбурі експлуатаційних свердловин.

Для визначення основних параметрів, які найістотніше впливають на утворення, швидкість росту кристалів і можливість створення відкладів вздовж стовбура свердловини неорганічних солей необхідно спрогнозувати механізм утворення відкладень. Якщо визначити швидкість, з якою будуть утворюватися відкладення вздовж стовбура свердловини, можна буде більш ефективно боротися з цією проблемою – планово закладати витрати на проведення запобіжних заходів.

Враховуючи вище сказане, а також ознайомившись з чинниками, які впливають на процес кристалізації [9], у стаціонарному режимі можна виділити основні з них: температура вибою свердловини та розподіл її вздовж стовбура, діаметр експлуатаційної колони, глибина свердловини, концентрація відповідної солі, а також види солей [10].

Математичну модель для прогнозування утворення відкладень у стовбурі свердловини при видобутку газу і газоконденсату досліджувалися у роботі [11].

На основі висновків були створені залежності, які характеризують утворення кристалів неорганічного походження. Основою створення залежностей було врахування надлишку вільної енергії у суміші (використано вільну енергію Гіббса). Були отримані результати, за якими відкладання солей відбувається на стінках колони на вибої свердловини, що співпадає з практичними даними.

Введемо категорійну інтерпретацію процесу утворення неорганічних речовин на основі предикатних схем, використовуючи вище введені означення.

Означення 4:

1. C – скінченна категорія неорганічних відкладень;
2. M – скінченна множина об'єктів в C ;
3. $F : C_0 \rightarrow FinSet$ – функтор, де C_0 є дискретною категорією, множина об'єктів якої є множиною об'єктів C .

Означення 5: Використовуючи інформаційний граф для інтерпретації прогнозування нафтогазонасичених покладів та якісні і кількісні показники, що характеризують утворення неорганічних речовин вздовж стовбура свердловини.

Означення 6: Вважаємо, що



Рисунок 7 – Предикатна схема прогнозування процесу відкладення неорганічних речовин

Якщо C – дискретна категорія з двома об'єктами ($C = \{\text{ВІДКЛАДИ СОЛЕЙ}, \text{МІНЕРАЛІЗОВАНА ВОДА}\}$). ВІДКЛАДИ СОЛЕЙ – тверді утворення у порах колектора, на стінках насосо-компресорних труб (НКТ), у наземному обладнанні. МІНЕРАЛІЗОВАНА ВОДА – високо мінералізований розсіл, який містить ряд цінних компонентів і є важливим як гідромінеральна сировина, то можемо одержати предикатну схему.

Тут ми бачимо, що ВІДКЛАДИ СОЛЕЙ та N-КОМПОНЕНТНІ ВІДКЛАДИ СОЛЕЙ пов'язані тільки через однакові набори параметрів. При l_1 – характеристики термобаричних умов; l_2 – характеристики аналізу проб мінералізованої води.

Ця специфікація свідчить, що ВІДКЛАДИ СОЛЕЙ і N-КОМПОНЕНТНІ ВІДКЛАДИ СОЛЕЙ, належать до одного родовища, можуть визначатися через параметри. Такий вид конструкцій часто використовується на практиці. При l_1 – характеристики термобаричних умов; l_2 – характеристики аналізу проб мінералізованої води, l_3 – характеристики аналізу поведінки температури; l_4 – характеристики аналізу динаміки зміни концентрації вмісту солей. На основі даних тверджень інтерпретація композиції R_1 і R_2 набудуть вигляду: R_1 – обмеження для характеристик аналізу термодинамічних характеристик; R_2 – обмеження для характеристик за компонентною концентрації солей (рис. 8).

Параметризація графа дає змогу формалізувати алгоритм прогнозування відкладення неорганічних речовин при розробці свердловин. Методом зіставлення категорійної предикатної схеми з заданим графом отримуємо розв'язок за заданими обмеженнями.

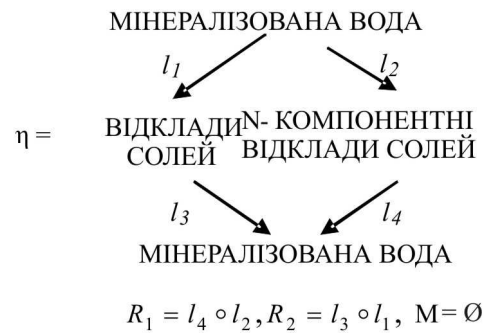


Рисунок 8 – Предикатна схема процесу прогнозування неорганічних речовин з пріоритетами покомпонентних відкладів

Оскільки виникають труднощі у створенні інтелектуальної системи для прогнозування відкладення неорганічних речовин вздовж стовбура свердловини при видобутку вуглеводнів, пропонується використовувати механізм поділу даної предметної області і її опис за допомогою організаційних моделей [12]. Отже, отриманий формальний опис процесів та об'єктів нафтогазової предметної області будуть використанні для опису завдань агентів у ракурсі створення інтелектуальної мультиагентної системи прогнозування результатів взаємодії і взаємовпливу об'єктів нафтогазової предметної області.

Формалізація процесу прогнозування покладів геотермальних вод

Під час вивчення основних параметрів та зв'язків між ними, які характеризують наявність чи відсутність родовища геотермальних вод, пропонується використати формалізацію, яка була введена у роботах [13, 14] і базується на введенні ідеї категорійної специфікації даних, запропонованих в [15]. Введемо категорійну інтерпретацію предметної області на основі предикатних схем.

Означення 7: Категорійною специфікацією даних (K -специфікацією) згідно з [15, 16] вважатимемо трійку (C, M, F) , де:

1. C – скінченна категорія (геотермальне родовище);
2. M – скінченна множина об'єктів в C (дані геофізичних, акустичних досліджень, термометрії, дані з розвідувальних свердловин, експлуатаційних свердловин при видобутку вуглеводнів);
3. $F : C_0 \rightarrow FinSet$ – функтор, де C_0 є дискретною категорією, множина об'єктів якої є множиною об'єктів C .

Означення 8: Предикатною схемою на множині унарних предикатів Π згідно з [13] вважається об'єкт $\eta = (B^{(n)}, R^{(n)}, f_1^{(n)}, f_2^{(n)}, n^{(n)})$, де кожному елементу приписаний відповідний предикат $(n : B^{(n)} \cup R^{(n)} \rightarrow \dot{I})$, B – множина вершин, R – множина дуг а f_1 і f_2 – функції, які для кожної дуги визначають її початок і кінець.

Категорія C специфікації найчастіше задається графом та множиною рішень, яка визначається співпаданням предикатних схем. Нехай C – дискретна категорія з двома об'єктами ($C = \{\text{КОЛЕКТОР}, \text{РОДОВИЩЕ}\}$).

РОДОВИЩЕ – це один або декілька продуктивних горизонтів або площ близькими за характеристиками та спільними геологічними умовами, які розробляються одним фондом свердловин. КОЛЕКТОР – це резервуар для води, який має певні фільтраційно-смісні характеристики, які потенційно дозволяють утримувати чи проводити продукцію.

Ця специфікація свідчить, що предметна область, яку ми хочемо формалізувати, складається з двох видів сутностей. Стрілки в категорії встановлюють існуючі залежності. Наприклад:



Рисунок 9 – Предикатна схема родовища з інформацією про колекторні властивості порід

Так як стрілка є функцією в моделі, то це відповідає тому, що кожен КОЛЕКТОР належить певному РОДОВИЩУ.

Першоджерело з n стрілками в категорії можна подати як n -арне мультівідношення:

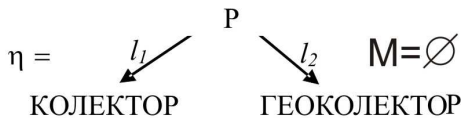


Рисунок 10 – Предикатна схема родовища з інформацією про геотермальні властивості порід

Ця специфікація свідчить, що ПАРАМЕТРИ $P = \{\text{польові та промислові геофізичні дані і аналіз керну}\}$ є мультівідношення між КОЛЕКТОРОМ і ГЕОТЕРМАЛЬНИМ КОЛЕКТОРОМ: кожному об'єкту типу ПАРАМЕТРИ відповідає пара (x, y) , де x типу КОЛЕКТОР, y – ГЕОТЕРМАЛЬНИЙ КОЛЕКТОР. Можливий такий варіант, коли різним об'єктам типу ПАРАМЕТРИ відповідає однакова пара. Наприклад, ГЕОТЕРМАЛЬНИЙ КОЛЕКТОР може визначатися за різним набором параметрів.

Для дотримання точності введених визначень на C , введемо обмеження:

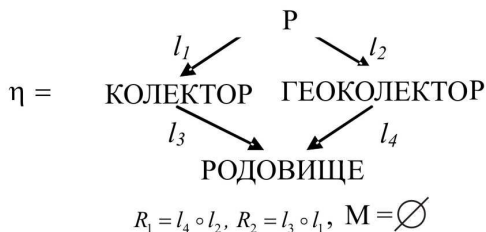


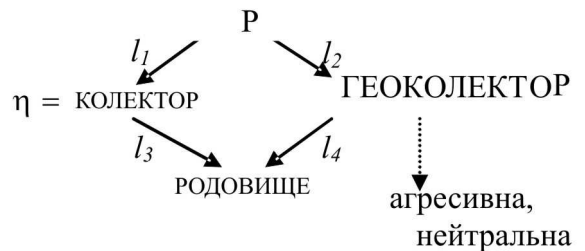
Рисунок 11 – Предикатна схема родовища з інформацією про геоколекторні властивості порід

Ця специфікація свідчить, що КОЛЕКТОР і ГЕОКОЛЕКТОР можуть визначатися через ПАРАМЕТРИ, якщо вони належать до одного родовища. Такий вид конструкції часто використовується на практиці. Якщо за мітки l_1, l_2 взяти попередні твердження, то l_3 – характеристики опору пласта, пористості пласта, аналіз географічного розміщення, проникності пласта; l_4 – характеристики пористості пласта визначених з аналізу керну, геофізичної розвідки, аналіз географічного розміщення. На основі даних тверджень інтерпретація композиції R_1 і R_2 набудуть вигляду:

R_1 – обмеження для характеристик аналізу геологічної розвідки, опору пласта;

R_2 – обмеження для характеристик пористості пласта, дані геофізичної розвідки і термометрії.

В попередніх прикладах функтор F був константним. Нехай тепер:



$$R_1 = l_4 \circ l_2, R_2 = l_3 \circ l_1, M = \{P, (l_1, l_2)\}$$

Рисунок 12 – Предикатна схема родовища з інформацією про властивості геотермальних вод

Функтор F означений на малюнку пунктирною стрілкою. Якщо з вузла графа існує лінія до скінченної множини, то це визначає функтор F для даного вузла. Тобто $F(\text{ГЕОКОЛЕКТОР})$ є множиною $\{\text{нейтральна, агресивна вода}\}$. Якщо від вузла n немає пунктирної лінії, то $F(n)$ є порожньою множиною. З вище означеним функтором F ми можемо зв'язати множину P з скінченною множиною параметрів, які характеризують КОЛЕКТОРИ. На даному етапі розвитку науки відомо досить багато факторів, не пов'язаних між собою, які прогнозують колектор: сейсморозвідка, електророзвідка, гравірозвідка, акустична розвідка, аналіз керну, якісний та кількісний склад наявних геотермальних вод.

Вище було наведено набір даних, які ми об'єднуємо під ПАРАМЕТРАМИ. На основі цих даних можемо визначити, чи у нас колектор, чи геотермальний колектор. Параметрами, які характеризують колектори з агресивною чи нейтральною водою, можуть бути, наприклад, дані про аналіз керну, газонасиченість, термобаричні дані, дані геологорозвідувальних свердловин.

Водночас, всі дані можна впорядковувати і реалізовувати на спеціально створеному WEB-ресурсі. Це значно спростить роботу для спеціалістів різних галузей, які будуть залучені до реалізації та експлуатації інформаційної си-

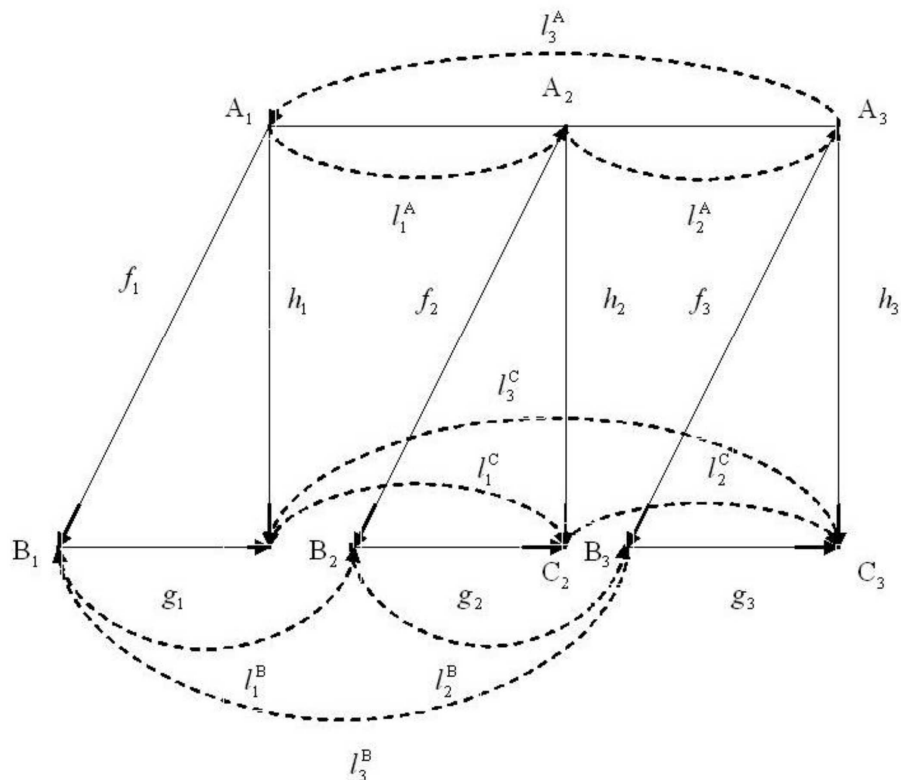


Рисунок 13 – Діаграма пошуку геотермальних вод на виснажених нафтогазових родовищах з використанням об'єктно-орієнтованої бази даних і об'єктно-реляційної моделі

стеми про експлуатовані родовища геотермальних вод.

З метою узгодження категорій об'єкта ПАРАМЕТРИ запропоновану структуру бази даних, яка міститиме:

1) Ідентифікаційну інформацію. Необхідно вказати назву набору даних. Наприклад, Geothermal. Тут будуть міститись дані хімічного складу та температури геотермальних вод (від джерела прісної води, на яке здійснюється вплив геотермальними впаданнями). Такі дані необхідні як базові, що дозволить оцінити вплив геотермальних вод на інші водні потоки.

2) Контактну інформацію. Тут вказується організація, позиція на ринку та програми, що використовуються, а також адреса організації, електронна пошта та контактні телефони з інформаційним і технічним відділами.

3) Географічну (просторову) інформацію. Містить дані про географічне розташування, висоту і глибину, кількість свердловин та їх характеристику, рік завершення.

4) Історію зібраних даних (інформація про період і частоту запису).

5) Якість інформації. Будь-яка отримана інформація повинна бути точною, отриманою згідно стандартів і логічно послідовною.

6) Інформацію розподілу. Відбувається формування даних. Вони можуть бути у вигляді повідомлення, малюнка, графіків, звіту. Також можливі додатки.

7) Загальні примітки. Вказуються всі зауваження, що необхідні при подальшій роботі з базою даних.

При розробці інформаційної системи прогнозування доцільно використовувати реляційну базу даних з головними таблицями свердловин геотермальних покладів. У цих таблицях кожний з об'єктів (свердловина) розглядається як один запас та, відповідно, ідентифікується єдиним числовим кодом ID, що є ключем. Ідентифікаційні таблиці забезпечують загальну інформацію про об'єкт (його назву, розташування, температуру, використання та інші характеристики). Додаткові таблиці можуть компліюватись зі зв'язаною інформацією про температуру, тепловий потік, геологічний профіль, хімічний склад і т.д. Вони зв'язуються з головними таблицями через такий самий ключ і, фактично, використовуються як підкаталоги головного каталогу (ідентифікаційна таблиця), що легко можна вибрати, використовуючи головне меню.

Повний список зв'язаних таблиць для свердловин і вибою свердловин повинні містити такі дані: ідентифікацію і дані розміщення (для свердловин і вибою свердловин); температурні дані в глибині (тільки для свердловин); температурний градієнт і дані потоків тепла (тільки для свердловин); графічне зображення свердловин (тільки для свердловин); характеристики резервуарів (тільки для свердловин); виробництво на свердловинах (для свердловин і вибою свердловин); хімічні, фізичні, ізотонічні характеристики води або пари (для свердловин і вибою свердловин); технічний профіль свердловин (тільки для свердловин); кореляція до вертикальних глибин для визначення відхилень свердловин (тільки для свердловин).

Використовуючи запропоновані підходи для процесу прогнозування слабо структурованих предметних областей у роботах [1, 3, 9], застосовано концепцію теорії категорій та введено основні положення, які використано в описі процесу підтримки прийняття рішень при прогнозуванні геотермального покладу: A – геотермальне родовище; B – виснажене нафтогазове родовище; C – параметри, які характеризують родовище.

Застосовано трикутник об'єднання об'єктно-орієнтованої бази даних і об'єктно-реляційної моделі для прогнозування геотермального покладу в умовах виснажених нафтогазових родовищах, використано конструкцію конуса для того, щоб вказати зміни, які охоплює підмножину значень. Використовуючи діаграму пошуку (рис. 13), введено означення та визначення, які дозволять описати дану слабо-структуровану область за допомогою математичного апарату теорії категорій [3].

Означення 1. Нехай A, B, C – об'єкти категорії GD ; $\langle f, h, g \rangle$ – трійка функторів відношень між об'єктами категорії. Тоді зображення для категорії GD набуде вигляду:

$$\left(A \xrightarrow{f} B \xrightarrow{g} C \right) \circ \left(A \xrightarrow{h} C \right) \circ \left(B \xrightarrow{g} C \right) \quad (1)$$

Означення 2. Нехай A, C – об'єкти категорії; δ, δ_r – проєкційні стрілки для відкритого трикутника опису категорії GD . Оскільки даний підхід ставить строгі умови, доповнення категорії матиме вигляд:

$$\langle \delta, \delta_r \rangle : A \times C \quad (2)$$

Означення 3. Нехай $h : \delta, \delta_r$ та $A \xrightarrow{f} B, C \xrightarrow{g} B$, тоді частковим результатом при зворотньому відображенні буде:

$$A \times C : h \rightarrow \delta, \delta_r \quad (3)$$

Конструкція конуса для окремої категорії матиме вигляд (рис. 14):

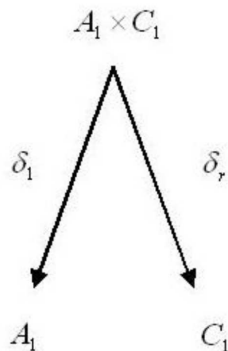


Рисунок 14 – Конус добутку для об'єктів $A_1 \times C_1$ (геотермального родовища)

Означимо, що для отримання підтримки прийняття рішень при прогнозуванні геотермальних покладів на виснажених нафтогазових родовищах, необхідно композиційно трансформувати результати категорій GD_i , де $i = \overline{1, n}$ за допомогою функторних залежностей у вигляді трійки $\langle l^A, l^B, l^C \rangle$.

Використовуючи вище сказані означення, в умовах нашої предметної області, прикладом можливих композицій, функторних трансформацій між об'єктами та категоріями, будуть:

1) категорії A, B, C (A – родовище, B – свердловина, C – літологія пласта)

2) об'єкти $\langle A_1, B_1, C_1 \rangle, \langle A_2, B_2, C_2 \rangle, \langle A_3, B_3, C_3 \rangle$ ($\langle A_1, B_1, C_1 \rangle$ – трійка подання геотермального родовища, $\langle A_2, B_2, C_2 \rangle$ – трійка нафтогазового родовища, $\langle A_3, B_3, C_3 \rangle$ – трійка параметрів)

Звідси випливає, що A_1 – дані геотермального родовища, B_1 – дані по свердловині геотермального родовища, C_1 – дані по літології пласта геотермального родовища; A_2 – дані нафтогазового родовища, B_2 – дані по свердловині нафтогазового родовища, C_2 – дані по літології пласта нафтогазового родовища; A_3 – опис (параметри) родовища, B_3 – опис (параметри) свердловини, C_3 – опис (параметри) літології пласта.

f_1 : коефіцієнт фільтрації, глибина залягання, потужність горизонту;

$h_1 : \delta_1, \delta_r$ – де δ_1 – пористість, геотермічний ступінь, теплопровідність, δ_r – проникність, геотермічний градієнт, тепловий опір;

g_1 : густина, мінералізація, пластова температура, швидкість фільтрації.

$f_2 \cong f_1$, тобто коефіцієнт фільтрації, глибина залягання, потужність горизонту;

$h_2 : \delta_2, \delta_r$ – де δ_2 – пористість, коефіцієнт фільтрації, в'язкість флюїду, δ_r – проникність, швидкість фільтрації, густина флюїду;

g_2 : глибина залягання, термобаричні умови (P, T), мінералізація пластового флюїду, f_3 : глибина, діаметр свердловини, географічне розміщення.

$h_3 : \delta_3, \delta_r \cong h_2 : \delta_2, \delta_r$, тобто δ_3 – пористість, коефіцієнт фільтрації, в'язкість флюїду, δ_r – проникність, швидкість фільтрації, густина флюїду.

g_3 – методи, які використовувались для інтенсифікації, газовий склад, характеристика породи на відповідній глибині.

Отже, аналізуючи викладене, можна зробити висновок, що для отримання підтримки прийняття рішень при прогнозуванні геотермальних покладів на виснажених нафтогазових родовищах необхідно композиційно трансформувати результати категорій GD_i , де $i = \overline{1, n}$ за допомогою функторних залежностей у вигляді трійки $\langle l^A, l^B, l^C \rangle$.

мувати результати категорій GD_i , де $i = \overline{1, n}$ за допомогою функторних залежностей у вигляді трійки $\langle I^A, I^B, I^C \rangle$.

Використовуючи згадані означення в умовах нашої предметної області прикладом можливих композицій, функторних трансформацій між об'єктами та категоріями будуть: категорії A, B, C . Тут: A – родовище, B – свердловина, C – літологія пласта; об'єкти $\langle A_1, B_1, C_1 \rangle$, $\langle A_2, B_2, C_2 \rangle$, $\langle A_3, B_3, C_3 \rangle$, де $\langle A_1, B_1, C_1 \rangle$ – трійка подання геотермального родовища, $\langle A_2, B_2, C_2 \rangle$ – трійка нафтогазового родовища, $\langle A_3, B_3, C_3 \rangle$ – трійка параметрів.

Структуризовано введені означення і визначення на основі даних та інформаційних потоків про геотермальний поклад. Отже: а) A_1 – дані геотермального родовища, B_1 – дані по свердловині геотермального родовища, C_1 – дані по літології пласта геотермального родовища; б) A_2 – дані нафтогазового родовища, B_2 – дані по свердловині нафтогазового родовища, C_2 – дані по літології пласта нафтогазового родовища; в) A_3 – опис (параметри) родовища, B_3 – опис (параметри) свердловини, C_3 – опис (параметри) літології пласта; г) f_1 : коефіцієнт фільтрації, глибина залягання, потужність горизонту; $h_1 : \delta_1 \otimes \delta_1$ – де δ_1 – пористість, геотермічний ступінь, теплопровідність, δ_1 – проникність, геотермічний градієнт, тепловий опір; g_1 : густина, мінералізація, пластова температура, швидкість фільтрації; д) $f_2 \cong f_1$, тобто коефіцієнт фільтрації, глибина залягання, потужність горизонту; $h_2 : \delta_2 \otimes \delta_2$ – де δ_2 – пористість, коефіцієнт фільтрації, в'язкість флюїду, δ_2 – проникність, швидкість фільтрації, густина флюїду; g_2 : глибина залягання, термобаричні умови (P, T) , мінералізація пластового флюїду; е) f_3 : глибина, діаметр свердловини, географічне розміщення, $h_3 : \delta_3 \otimes \delta_3 \cong h_2 : \delta_2 \otimes \delta_2$, тобто δ_3 – пористість, коефіцієнт фільтрації, в'язкість флюїду, δ_3 – проникність, швидкість фільтрації, густина флюїду, g_3 – методи, які використовувались для інтенсифікації, газовий склад, характеристика породи на відповідній глибині.

Враховуючи попередні математично-предикатні синтаксичні побудови, запропоновано концептуальну модель, яка буде використовувати гідрогеологічні і геотермічні параметри геотермальних покладів (сукупність функцій і правил для досягнення цілей) предметної області. Для цього використано теорію, запропоновану у роботі [17], де кожна ціль C – це водоносний шар і задається своїм повним визначенням – $D(C)$ кон'юнкцією часткових визна-

чень з типами T (властивості водоносного шару), множина яких фіксована для категорії:

$$T(C) = \langle L(C), B'(C, S), B''(C, S), S(C) \rangle, \quad (4)$$

де $L(C)$ – параметр ступеня визначеності $T(C)$:

$$L(C) \in \{d, p, u, n\}, \quad (5)$$

де: d, p, u, n – набори параметрів, знань за наявності яких можна робити висновок: d – термальна вода з відомим якісним складом; p – термальна вода з невідомим якісним складом, u – водонасичений пласт з невідомим якісними і кількісними ознаками, n – водонасичений пласт, непридатний для експлуатації.

Задано цілі та параметри, через які визначається C в рамках S :

для $B'(C, S)$: параметри: $S = \langle$ геологічна будова, якісний склад, коефіцієнт водопровідності, коефіцієнт фільтрації, глибина залягання \rangle ; цілі – $C = \langle$ ефективність видобутку, придатність використання, прогнозна температура на гирлі свердловини \rangle .

для $B''(C, S)$: параметри – $S = \langle$ дані термометрії, дані сейсмозв'язки, дані каротажних робіт \rangle ; цілі – композиція $C_{B'} = C_B \vee C_{B''}$

$S(C)$ – це множина параметрів, яка змінюється в залежності від цілей.

Висновки

У дослідженні запропоновано використання теорії категорій для врахування кількісних і якісних інформаційних потоків з метою опису слабкоструктурованих об'єктів нафтогазової промисловості. Зокрема, використовуючи категорій підхід до опису слабкоструктурованих областей, раціонально використовувати існуючі технології розробки нафтогазових родовищ, прогнозувати утворення неорганічних відкладень вздовж стовбура свердловини при видобутку газу, прогнозувати наявність геотермальних покладів використовуючи наявну інформацію розробки нафтогазових родовищ Прикарпаття. Це дозволило зображати зв'язки і відмінності між різними інформаційними потоками, які описують предметні області, що характеризуються слабкоструктурованістю, нечіткістю, суперечливістю інформації про них.

Література

- 1 Юрчишин В.М. Класифікація ознак та зв'язків при формуванні баз знань нафтогазовидобувного об'єкта / В.М. Юрчишин, В.І Шекета // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 3 – С.53–54.
- 2 Солдатов В.Н. Банки даних в нафтяній промисловості / В.Н. Солдатов, И.Л. Чудинов, В.З. Ямпольский. – Новосибирск: Наука, 1988. – 126 с.
- 3 Шекета В.І. Побудова інформаційної предикатної схеми, як середовища виконання

трансформації запитів користувача по напівструктурованій інформації нафтогазової предметної області / В.І. Шекета // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. Технічні науки. – 2003. – №2(6). – С.50–57.

4 Piessens F. Categorical data-specification / F. Piessens, E. Steegmans // Theory and Application of Categories. – vol. 1. – 1995. – № 8. – P.156–173.

5 Barr M. Category Theory for Computing Science / M. Barr, C. Wells // Prentice Hall International Series in Computer Science. – 1990. – P.102–122.

6 V. Pareigis. Categories and functors / V. Pareigis // Academic press INC. – New York, 1970. – P.94–115.

7 Юрчишин В.М. Наукові основи застосування інформаційних технологій при управлінні процесами розробки нафтогазових родовищ : дис. доктора техн. наук: 05.15.06 / Юрчишин Володимир Миколайович. – Івано-Франківськ, 2006. – 359 с.

8 Довідник з нафтогазової справи; за заг. ред. докторів технічних наук В.С. Бойка, Р.М.Кондрата, Р.С. Яремійчука. – К.: Львів, 1996. – 620 с.

9 Гвоздев Б.П. Эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений: справочное пособие. / Б.П. Гвоздев, А.И. Гриценко, А.Е. Корнилов. – Москва: Недра, 1988. – 575 с.

10 Яцишин М.М. Математична модель процесу кристалізації однокомпонентних солей у стовбуру експлуатаційної свердловини / М.М. Яцишин, Т.В. Дитко, І.В. Бронівський // Розвідка та розробка нафтових родовищ. – 2005. – № 4(17). – С.42–45.

11 Mark Sims. Separating Domain and Coordination in Multi-Agent Organizational Design and Instantiation / Mark Sims, Daniel Corkill, Victor Lesser// Proceedings of the International Conference on Intelligent Agent Technology (IAT 2004).– September 2004.– New York.– 2004.– P. 155–161.

12 Oprea M. A Case Study of Knowledge Modelling in an Air Pollution Control Decision Support System / M. Oprea // AI Communication, 2005. – Vol. 18. – No. 4. – pp. 293–303.

13 Tonya L. Boyd. Geo-Heat Centre. Western States geothermal databases CD / Tonya L. Boyd // GHC Bulletin. – March 2002. – p. 1–5.

14 Шекета В.І. Інформаційно-пошукові задачі на основі обмежень для нафтогазової предметної області / В.І. Шекета // Вісник Житомирського державного технологічного університету: Технічні науки. – 2003. – № 3(27). – С.167–172.

15 Шекета В.І. Категорійний підхід до формалізації нафтогазової предметної області на основі предикатних схем / В.І. Шекета, Л.І. Випасняк, М.М. Яцишин // Матеріали I-ої Міжнародної конференції молодих науковців: CSE–2006, (11–13 жовтня 2006, м. Львів). – Львів, 2006. – С.113–119.

16 Горбаль М.Б.. Визначення інформаційних потоків для побудови інтелектуальної інформаційної системи пошуку геотермальних покладів / М.Б.Горбаль, М.М.Яцишин, В.М.Юрчишин // Відновлювана енергетика. – 2009. – №2. – С. 55–58.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
13.02.12*

*Рекомендована до друку професором
П. І. Федоруком*