

РОЗРОБКА СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МУЛЬТИАГЕНТНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ ОПИСУ УТВОРЕННЯ СОЛЕЙ В СТОВБУРІ СВЕРДЛОВИНИ

Проведено аналіз відомих підходів опису об'єктів, процесів нафтогазової предметної області, які ґрунтуються на використанні математичного аналізу, класичних підходів до побудови баз даних, баз знань, експертних систем. Теоретично обґрунтовано застосування формально-логічного апарату теорії категорій, які дозволяють описувати об'єкти не тільки кількісно, але і якісно. Такі характеристики цієї теорії дають змогу будувати моделі інформаційних потоків слабо структурованих 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 опис життєвого циклу родовища. Здійснено інформаційно-категорійну інтерпретацію процесу прогнозування відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини при видобутку газу.

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

M.M. YATSYSHYN, O.F. KOZAK, R.I. HRABATUN

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine

DEVELOPMENT OF STRUCTURAL-FUNCTIONAL MULTI-AGENT MODEL TO DESCRIBE FORMATION OF SALTS IN THE BOREHOLE

The analysis of the known approaches describe objects, processes oil and gas domain, based on the use of mathematical analyse, classical approaches to the construction of databases, knowledge bases, expert systems. Application of formal-logical apparatus of the category theory that allow for turned towards describe objects not only quantitatively but also qualitatively. These characteristics of this theory make it possible to build models of information flows poorly structured data that describes the lead-CLE information about objects and processes. Construct information-flow model of categorical data using predicate diagrams to describe the oil and gas domain, including a description of the life cycle of the oil and gas field. Simulate information-categorical interpretation forecasting deposition of inorganic substances in the hole with gas.

Key words: oil and gas subject domain, low data structurization, predicate diagrams, category theory, inorganic substances, geothermal water, information and categorical model

Вступ

Протягом останніх років широке розповсюдження знайшло застосування методів інформаційних технологій для опису областей застосування, які характеризуються невизначеністю та слабкою структурізацією даних. Враховуючи те що нафтогазова промисловістю характеризується наявністю таких предметних областей їх застосування набуває актуального значення, а важливість прийняття рішень на етапах пошуку, розвідки та розробки нафтогазових родовищ зумовила високий та постійний інтерес до цієї області досліджень. Однією з таких задач є процес прогнозування відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловин при видобутку газу. Наявність закупорень неорганічного походження несе за собою зниження дебетів свердловин та руйнування нафтогазового обладнання, тому вчасне прогнозування і наступні профілактичні заходи є досить актуальним [1–3]. Розробка математичних основ процесу фазових перетворень неорганічних систем та проведення математичного прогнозування та попередження умов випадання неорганічних речовин в стовбурі свердловин дозволить ефективніше управляти процесом видобутку газу.

Аналіз та обґрунтування вибору основних інформаційних потоків

Враховуючи перший закон термодинаміки та попередні розробки аналітичних залежностей щодо прогнозування відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини товщина неорганічного шару складатиме:

$$\frac{dx}{d\tau} = k \times S \times (c - a), \quad (1)$$

де dx – кількість солі, що кристалізувалася за час $d\tau$ на поверхні S ; k – коефіцієнт швидкості кристалізації; a – розчинність солі; c – вміст тієї ж солі в розчин.

У загальному вигляді математичну модель можна подати у вигляді:

$$dx = f(T, d, c, G), \quad (2)$$

де T – температура по стовбуру свердловини; d – діаметр свердловини; c – концентрація солі у розчині по стовбуру свердловини; G – сукупність величин, які характеризують властивості відповідної солі.

У свою чергу:

$$T = f(L, t_g, \Gamma), \quad (3)$$

де L – глибина свердловини; t_g – температура гирла; Γ – геотермічний коефіцієнт.

$$G = (A, B, C, \gamma, \mu^0). \quad (4)$$

У випадку коли є рух рідини, тобто процес є у динаміці на відкладення солей буде впливати і ця невелика зміна тиску по стовбуру свердловини. Тиск в газових свердловинах визначають або безпосередньо за допомогою манометрів, або розрахунковим шляхом.

При визначенні вибійного тиску свердловини можна скористатись двома методами. У першому методі застосовується рівняння гідростатики для затрубного простору, при цьому необхідно знати затрубний тиск на гирлі свердловини. Другий метод полягає у використанні рівняння руху продукту, що піднімається вгору по НКТ. У цьому методі граничним є тиск на гирлі. Перший метод дає більш точні результати, оскільки в другому методі відбуваються втрати тиску на тертя, які можна оцінити лише приблизно.

Враховуючи це на швидкість утворення закупорки у стовбурі свердловини буде впливати витрата газу та його властивості оскільки отримаємо:

$$dx = f(T, d, c, G, w, \rho), \tag{5}$$

де ρ – густина газу, w – швидкість руху по свердловині.

Таким чином, для розрахунку товщини шару необхідно мати наступні дані: діаметр свердловини, D ; діаметр молекули відповідної речовини (солі), d ; концентрацію солі в суміші, c ; коефіцієнт фугтивності, γ ; нормальний хімічний потенціал відповідної солі, μ ; питомою теплоємність відповідної солі, C ; швидкість газу, w ; коефіцієнт гідравлічного тертя, λ ; густина газу, ρ [3, 5].

Побудова функціональної структури отримання інформації про об'єкт дослідження

З метою алгоритмізації процесу підтримки прийняття рішень при управлінні процесом експлуатації свердловини при видобутку вуглеводні за умови утворення пробок неорганічного походження використано закони термодинаміки [3], теорію категорій [4], та агенто-орієнтований підхід, що дало змогу якісно і кількісно описати поведінку водо-сольових систем, які характерні для свердловин на пізніх стадіях експлуатації. Враховуючи фізичні, математичні, категоріальні та алгоритмічні формалізації процесу управління при прогнозуванні утворення неорганічних відкладень у стовбурі свердловини при видобутку газу перейдемо до створення функціонально-структурної моделі отримання інформації про динаміку зміни основних параметрів, які характеризують процес утворення закупорень неорганічного походження у свердловинах при видобутку газу.

Опишемо структуру отримання інформації про об'єкт дослідження для опису процесу

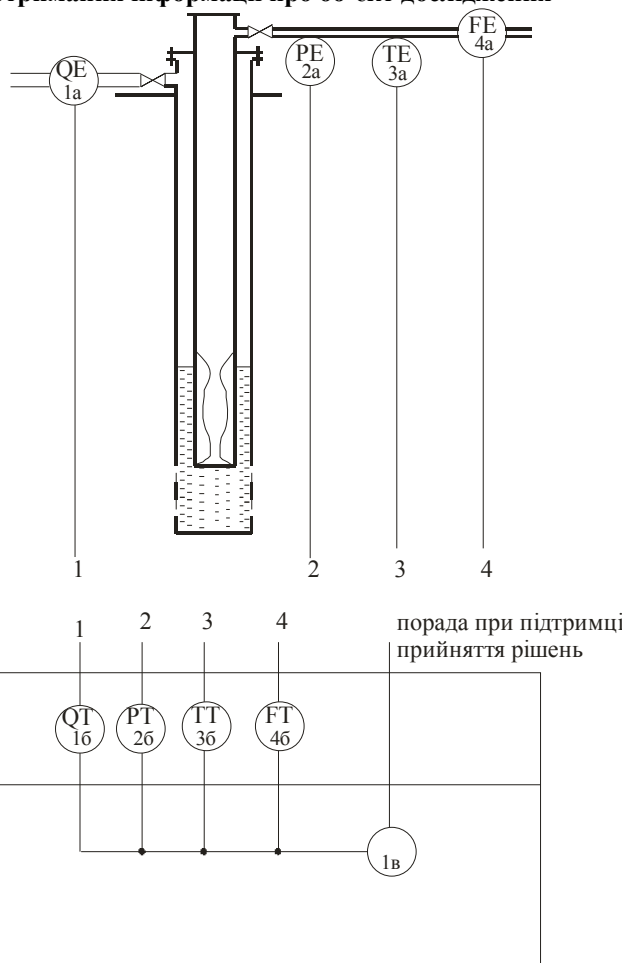


Рис. 1. Функціональна структура отримання інформації про об'єкт дослідження

прогнозування відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини та подальшого інтелектуального аналізу даних з підтримкою прийняття рішень при попередженні виникнення аварійних ситуацій в результаті розробки нафтогазових родовищ. Функціональну структуру представлено на рис. 1, яка дає змогу отримати дані, що динамічно змінюються в часі: тиск, температуру, витрату видобувного флюїду, компонентний склад пластових вод. Дані, які є константними для окремо взятої свердловини і родовища загалом виділимо у окремий клас – *const*, у нашому випадку – дані про свердловину (діаметр, глибина, властивості матеріалу експлуатаційних колон), характеристики солей (коефіцієнт фугтивності та активності, діаметр молекул, коефіцієнт А, В, С).

Введення мульти-агентної структури опису процесу прогнозування відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловин

У результаті означення методів отримання інформації про об'єкт і процес дослідження вводимо

структурно-функціональну мультиагентну модель для опису процесу дослідження, представлену на рисунку 2.

Елементи даної структури можна поділити на такі види: агенти отримання інформації, агенти цілей (завдань), обчислюючі агенти, агенти інтелектуального аналізу. Агенти отримання інформації (AI) – давачі температури, тиску, витрати та аналізатор компонентного складу пластових вод:

$$AI: \langle t, p, f, q, \text{binary output} \rangle, \quad (6)$$

де e, t, p, f, q – відповідно інформація про температуру, тиск, витрату, склад пластових вод, *binary output* – числовий вихід інформації

Агенти цілей (завдань) (AG) задають мету роботи агента, який є складовою мультиагентної системи:

$$AG: \langle \text{time, thickness, number, depth} \rangle, \quad (7)$$

де *time* – час на який робиться прогноз, *thickness* – товщина прогнозованого відкладу, *number* номер свердловини, *depth* – глибина прогнозованого відкладу неорганічних речовин

Обчислювальні агенти АС виконують розрахунки на основі вхідних даних та констант:

$$AC: \langle AI, c, lg, \text{class, local decision} \rangle, \quad (8)$$

де *AI* – множина вхідних даних, *c* – константи, *class* – класи обчислюваних задач, *lg* – локальні цілі, *local decision* – локальні рішення.

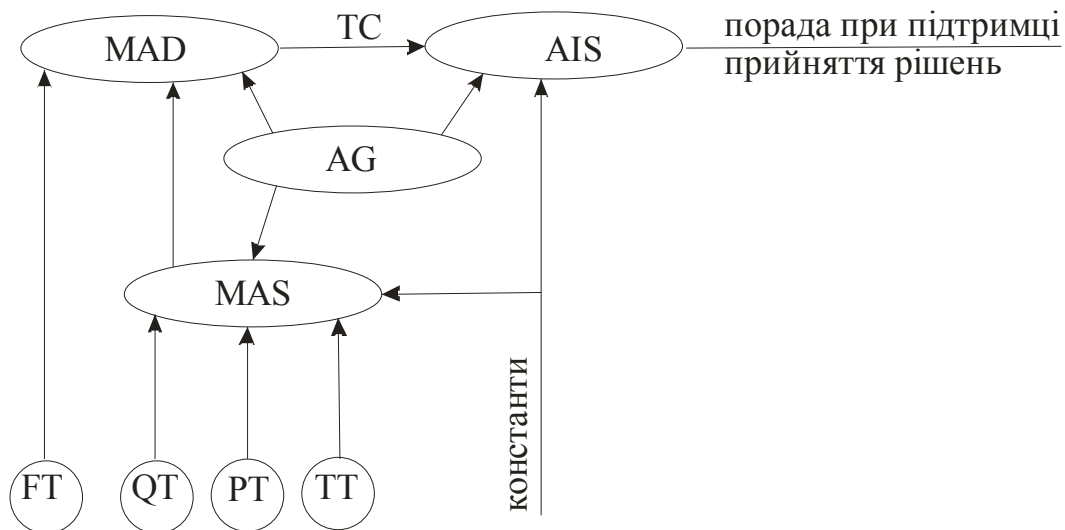


Рис. 2. Структурно-функціональне представлення агенто-орієнтованої схеми прогнозування відкладення неорганічних речовин по стовбурі свердловини

де *MAS* – агент математичної моделі прогнозування у статичі, *MAD* агент математичної моделі прогнозування у динаміці, *TC* – монострілка використання апарату теорії категорій, *AIS* агент інтелектуальна система підтримки прийняття рішень при прогнозуванні відкладенні неорганічних речовин, *FT, TT, PT, QT* – вимірювачі відповідно витрати, температури, тиску флюїду, компонентний склад пластової води, *AG* – агент цілей прогнозування.

Агенти інтелектуального аналізу *AIS* – агенти, за допомогою яких здійснюється підтримка прийняття рішень на основі даних від агентів отримання інформації, обчислювальних агентів, знання глобальних цілей

$$AIS: \langle AI, AC, c, gg, tc, \text{decision} \rangle, \quad (9)$$

де *AI* – множина вхідних даних, *c* – константи, *AC* – множина даних про роботу обчислюючих агентів, *gg* – глобальні цілі, *tc* – апарат теорії категорій, *decision* – інформація для підтримки прийняття рішень при прогнозуванні відкладення неорганічних речовин по стовбурі свердловини.

Зв'язки (*Communication*) – методи та підходи до організації зв'язків між агентами у мультиагентному середовищі:

$$\text{Communication: } \langle \text{input, tc, output} \rangle, \quad (10)$$

де *input* – множина даних роботи агента, *tc* – формально-логічний апарат теорії категорій, *output* – множина даних отримана в результаті застосування теорії категорій.

Отже, здійснивши виділення основних інформаційних потоків які характеризують процес утворення неорганічних речовин, запропонувавши, обґрунтувавши їх вибір математичні підходи, які покращують якісну і кількісну оцінку прогнозного значення утворених відкладів, які дадуть змогу здійснити підтримку прийняття рішень при попередженні аварійних ситуацій в процесі розробки нафтогазових родовищ перейдемо до реалізації даного підходу.

Запропонована алгоритмізація процесу підтримки прийняття рішень для управління при прогнозуванні неорганічних відкладень дає змогу використовувати: інформацію про якісний склад пластових вод (кількісний компонентний склад), термодинамічні умови окремо взятої свердловини (температура, тиск, дебіт), параметри свердловини (глибина, діаметр), базу даних про сталі та константи неорганічних речовин, які можуть відкладатись у стовбурі свердловини при видобутку газу. Інформаційна система на основі мультиагентного підходу з використання апарату теорії категорій, математичних та фізичних законів дозволяє стверджувати про можливість утворення неорганічних відкладів у стовбурі свердловини, оцінити їх товщину і місце їх знаходження. Такий підхід до алгоритмізації дає змогу якісніше використовувати ресурси ЕОМ,

корисний час фахівця, який відповідає за прийняття рішень в умовах нафтогазового родовища. Що в результаті дало можливість створити програмний продукт у середовищі Delphi.

Аніліз отриманих результатів роботи запропонованої мультиагентної системи

Прогнозування майбутніх значень на регулярній основі ускладнюється неструктурованістю даних нафтогазової предметної області. Саме тому необхідно включити в прогноз показник можливого відхилення значення змінної. Необхідність вибору еталону точності визначається: різними показниками прогнозів, що отримуються; потребою мати в прогнозі декілька показників; важливістю контролю помилок прогнозу (в порівнянні з еталоном). Помилка (mistake) в прогнозі означає різницю між фактичним і спрогнозованим значеннями:

$$mistake = FD - Prog \quad (11)$$

де FD – фактичне значення; $Prog$ – прогноз.

Помилка позитивна, якщо прогноз занижений, і негативна, якщо він завищений. Помилки в прогнозі впливають на рішення при виборі різних варіантів прогнозу і на результат використання того або іншого методу прогнозування.

Обчислення точності прогнозу. Визначити помилку у вичисленому значенні прогнозу неможливо, оскільки невідомо його дійсне значення. Однак існує ймовірність того, що помилка обчисленого прогнозу не перевищить деяку величину або максимальну помилку прогнозу, яку можна очікувати із заданою ймовірністю:

- математичне очікування (MO)

$$MO = \frac{\sum |AD - Prog|}{n} \quad (12)$$

де AD – дійсне значення.

- середньоквадратичне відхилення (MSV)

$$MSV = \frac{\sum (AD - Prog)^2}{n - 1} \quad (13)$$

При аналізі одержаних результатів ми бачимо, що відкладення найбільше залежать від витрати газу, мінералізації пластової води, та співвідношення температура – тиск, а також від того які солі переважають у солевідкладеннях, що підтверджує правильність теоретичного вибору основних інформаційних потоків, які характеризують процес відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини при видобутку газу. Використовуючи дані про утворення неорганічних закупорень в умовах Котелевського родовища отримаємо: $MO = 2,6$, а $MSV \approx 6$.

Висновки

Удосконалено функціональну структуру інформаційної моделі прийняття рішень при експлуатації свердловин на основі використання агента-орієнтованого підходу, що покращує техніко-економічні показники розробки нафтогазових родовищ. Подальші дослідження будуть направлені на використанні прогнозування відкладення неорганічних речовин у стовбурі свердловин з метою підвищення ефективності роботи НГВУ – планування ремонтних та профілактичних заходів.

Література

1. Никольский Б.П. Справочник химика / Б.П. Никольский, О.Н. Григоров. – [2-е изд.]. – Ленинград – Издательство «Химия», – 1968. – Т.1– 7.
2. Юрчишин В.М. Використання теорії категорій для діагностики свердловин при їх консервації та ліквідації / В.М. Юрчишин / Науковий вісник національного технічного університету. – 2003. – № 1. – С. 121– 124.
3. 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 4 (17) 2005. – Івано-Франківськ. – С. 42– 45.
4. Piessens F. Categorical data-specification / F. Piessens, E. Steegmans / Theory and Application of Categories. – vol. – 1. – No. 8. – 1995. – pp.156– 173.
5. Довідник з нафтогазової справи / За заг. ред. докторів технічних наук В.С. Бойка, Р.М. Кондрата, Р.С. Яремійчука. – К. : Львів, 1996. с С. 620.

References

1. Nikolsky B.P., Grigorov O.N. Handbook of chemical. 2 edition. Leningrad. Chemistry. 1968. Vol.1– 7 [in Russian].
2. Yurchyshyn V.M. Using category theory to diagnose holes in their conservation and liquidation. Kyiv. Scientific Bulletin of the National Technical University. 2003. № 1. P.121– 124.[in Ukrainian].
3. Yatsyshyn M.M. Mathematical model of the crystallization of one-component salts in the trunk wells / M.M. Yatsyshyn, T.V. Dytko, I.V. Bronovskyy / exploration and development of oil fields 4 (17) 2005. – Ivano-Frankivsk. – pp.42– 45. [in Ukrainian].
4. Piessens F. Categorical data-specification / F. Piessens, E. Steegmans / Theory and Application of Categories. – vol. – 1. – No. 8. – 1995. – pp.156– 173.
5. Handbook of oil and gas business. According Society. yet. PhD V.S. Boyko R.M.Kondrata, R.S. Yaremychuka. – K.: Lviv, 1996. – S.620. [in Ukrainian].

Рецензія/Peer review : 10.3.2013 р. Надрукована/Printed : 7.4.2013 р.
Рецензент: д.т.н., проф., зав. кафедри комп'ютерних систем та мереж Горбійчук М.І.