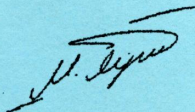


004.94
Я33

**Івано-Франківський національний технічний університет
нафти і газу**

Яцишин Микола Миколайович



УДК 681.5:622.32(047)

**КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ
ВІДКЛАДЕННЯ НЕОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН У СТОВБУРІ
ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН**

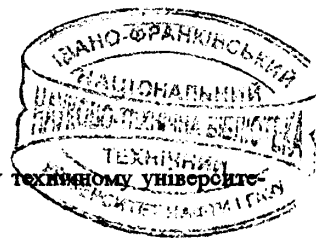
05.13.07 – автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України.



Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Юрчишин Володимир Миколайович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем

Офіційні опоненти:
доктор технічних наук, професор
Горбійчук Михайло Іванович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж

кандидат технічних наук, доцент
Цвіркун Леонід Іванович
Національний гірничий університет, доцент кафедри автоматизації та комп'ютерних систем

Захист відбудеться "10" червня о 13⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 при Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15)

Автореферат розісланий "06" червня 2011 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Дранчук М.М.



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Пошук, розвідка та розробка нафтогазових родовищ, а також експлуатація свердловин неможлива без впровадження нових інформаційних технологій для організації систем збору, зберігання та відповідної обробки не тільки кількісної, а й якісної інформації про експлуатацію свердловин з метою підтримки прийняття рішень фахівцями при управлінні життєвим циклом нафтогазового родовища. Цим пояснюється інтенсивність наукових досліджень у даній області, враховуючи низький рівень формалізації знань.

У процесі експлуатації газових і газоконденсатних свердловин виникає проблема відкладення нашарувань по їх стовбуру. У відкладеннях утворюються агресивні сполуки неорганічного походження, які негативно впливають на стан колон експлуатаційної свердловини: зниження видобутку газу, корозія видобувного обладнання, забруднення навколишнього середовища. Важливою є проблема формалізації процесу поводження хімічного складу пластових вод, які транспортуються по стовбуру свердловини при різних термодинамічних умовах.

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

Одним з основних чинників зниження продуктивності свердловин у процесі їх експлуатації є кольматація привибійної зони пласта та закупорення у стовбурі свердловин. Неорганічні солі, що розчинені у пластовій рідині, є основним матеріалом, з чого складаються ці закупорювання. Розробка математичних основ процесу фазових перетворень неорганічних систем та проведення математичного прогнозування та попередження умов випадання неорганічних речовин в стовбурі свердловин дозволять ефективніше управляти процесом видобутку газу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні положення дисертаційної роботи ґрунтуються на результатах держбюджетної роботи „Науково-методологічні основи діагностування та управління у нафтогазовій промисловості для оптимізації витрат енергоресурсів ” (номер державної реєстрації 0107UA001560). Результати дисертаційної роботи ввійшли також до госпдоговірної роботи з наданням науково-технічних послуг університетом: ДП “Науканафтогаз” - “Вивчення фізико-хімічних і термодинамічних умов, розробка методики та програмного забезпечення прогнозування фазових перетворень у неорганічних системах в стовбурі свердловин ” (2004 р. № державної реєстрації 0105UA004977). Виконавцем усіх названих робіт був автор дисертації.

Мета і завдання досліджень. Метою даної роботи моделювання та прогнозування відкладення неорганічних речовин у стовбурі свердловин при видобуванні газу для вчасної ідентифікації аварійних ситуацій.

Досягнення вказаної мети вимагає вирішення наступних логічно пов'язаних завдань:

1. Дослідити закономірності, які характеризують прогнозування утворення відкладень у неорганічних системах при видобування газу.

2. Формалізувати процес прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини на основі інформаційного моделювання.

3. Здійснити математично-інформаційне обґрунтування вибору параметрів, які характеризують процес утворення неорганічних речовин

4. Виконати побудову та реалізацію інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень при утворенні неорганічних відкладень по стовбуру свердловини.

5. Виконати побудову функціональної структури моделі за допомогою агенто-орієнтованого підходу для нафтогазової предметної області.

6. Розробити алгоритм і програмне забезпечення для прогнозування відкладення неорганічних речовин.

Об'єкт досліджень – процес фізико-хімічних та термодинамічних фазових перетворень в неорганічних системах у процесі видобування газу.

Предмет дослідження – інформаційне, алгоритмічне, програмне забезпечення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для керування роботою нафтогазового родовища у процесі прогнозуванні відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини.

Методи дослідження базуються на теорії математичного аналізу, формально-логічному апараті теорії категорій – для побудови математичних моделей, які описують процес утворення неорганічних відкладень; теорії інформатики – для реалізації інтелектуальної системи та сучасних положень теорії кристалізації неорганічних речовин – для обґрунтування вибору параметрів, які описують об'єкт дослідження, та їх структури.

Наукова новизна одержаних результатів.

Удосконалено систему підтримки прийняття рішень у процесі прогнозування утворення багатокомпонентних неорганічних відкладень по стовбуру свердловини на основі використання теорії категорій, що розширило можливості опису слабко-структурованих предметних областей.

Удосконалено підхід до підтримки прийняття рішень у процесі експлуатації свердловин пробурених для видобутку газу, з метою підвищення ефективності управління ними, що розширило можливості моделювання і прогнозування аварійних ситуацій при розробці нафтогазових родовищ.

Уперше розроблено математичну модель прогнозування процесу утворення неорганічних відкладень на стінках стовбуру свердловини під час видобування газу, що, на відміну від існуючих, дозволить описувати їх утворення при багатокомпонентності неорганічної системи.

Практичне значення отриманих результатів. Використання одержаних у роботі наукових результатів дозволило:

Розробити інтелектуальну систему прогнозування відкладень неорганічних речовин по стовбуру свердловин пробурених для видобутку газу, що дає змогу приймати ефективні рішення при видобутку газу.

Синтезувати систему управління процесом прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини на основі мульти-агентного підходу, яка запропо-

нована використовуватись в промисловості.

Запропонувати алгоритми та програми для прогнозування процесу утворення неорганічних відкладень по стовбуру свердловини у процесі видобутку газу, що дає змогу вчасно ідентифікувати аварійні ситуації при експлуатації свердловин.

Результати досліджень впроваджені в навчальному процесі при вивченні дисциплін «Методи за засоби обробки знань у геології нафти та газу» та «Експертні системи» для студентів спеціальності 6.050103 – програмна інженерія.

Особистий внесок здобувача. Створено математичну модель прогнозування багатокomпонентних неорганічних відкладень по стовбуру свердловини під час видобування газу у статичному режимі [1]. Формалізовано процес утворення неорганічних нашарувань у стовбурі експлуатаційної свердловини використовуючи основні положення теорії категорій [2-4]. На основі введених формалізмів розроблено алгоритм побудови інформаційної системи для підтримки прийняття рішень у процесі прогнозування утворення неорганічних відкладень по стовбуру свердловини [5].

Апробація результатів досліджень. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на XXII міжнародній міжвузівській школі-семінарі «Методи і засоби технічної діагностики» (м. Івано-Франківськ, 2005 р.), на VI міжнародній науково-технічній конференції «Электронные информационные ресурсы: проблемы формирования, обработки, распространения, защиты и использования – 2006» (м. Київ 2006 р.), на I-й міжнародній конференції молодих науковців «CSE - 2006» (м. Львів 2006 р.), на другій міжнародній конференції «Теоретичні і прикладні аспекти побудови програмних систем (TAAPSD/2006), на міжнародній науково-технічній конференції "Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці", на X міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології – 2008» (м. Київ 2008р.).

Публікації. За результатами досліджень, які викладені в дисертації, опубліковано 11 робіт, у фахових виданнях 5, в тому числі 2 одноосібних.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, викладених на 172 сторінках тексту, 41 рисунка, 7 таблиць та 93 посилань на літературні джерела.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі розкрито сутність і стан наукової проблеми, та її значущість, підстави і вихідні дані для розробки теми, необхідності проведення досліджень. Обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, викладено зв'язок вибраного напрямку досліджень з науковими програмами, планами, темами, сформульовано мету і задачі досліджень, подані наукова новизна і практичне значення отриманих результатів. Визначено особистий внесок здобувача і дана інформація про апробацію результатів дисертації, обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовані мета та завдання дослідження, подані наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі проведено огляд існуючих досліджень з питань прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини при видобуванні нафти і газу та вибрано напрямок досліджень. Сучасні методи розробки родовищ газу з підтримкою пластового тиску шляхом закачування прісних і стічних вод приводять до ускладнень у процесі видобування газу, які зумовлені утворенням твердих відкладень неорганічних солей у привибійній зоні пласта та на устаткуванні газового промислу. Накопичуючи на стінках експлуатаційних колон свердловини для видобутку газу, неорганічні солі переважно повністю виводять з ладу дороге устаткування, порушують режим роботи свердловин, приводять до трудомістких підземних капітальних ремонтів, і як результат до значних втрат у процесі видобування газу.

На основі аналізу загальної характеристики проблеми боротьби з відкладеннями неорганічних речовин, умов їх відкладення, існуючих математичних моделей і методів прогнозування кристалізації солей можна сказати, що під час розгазових родовищ необхідно використовувати не тільки кількісні, але і якісні інформаційні потоки.

З метою врахування кількісних і якісних параметрів поставлено мету розробити інформаційну модель прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини та комп'ютерну інтелектуальну систему прийняття раціональних технологічних рішень у процесі розробки родовищ газу.

Утворення неорганічних солей у стовбурі свердловини під час видобутку газу у процесі розробки більшості родовищ України стало поширеним явищем. Міжремонтний період роботи фонду свердловин, які закупорюються істотно зменшується. Крім того, в результаті зростання обводненості продукції свердловин утворюються відкладення солей у наземному устаткуванні, групових, вимірних установках.

У другому розділі на основі узагальнення матеріалу встановлено, що основними причинами відкладення солей є:

- контакт 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 попутних пластових водах (концентрація солей).

Крім того на процес утворення солевих відкладень впливають: електричне поле; органічні складові; характер емульсії в свердловині; природа поверхні обладнання і пристовбурної рідини; хімічні реагенти, які використовуються при видобуванні газу (метанол, соляна кислота тощо).

Аналіз існуючих досліджень та власний досвід здобувача, свідчить, що моделювання слугує головним інструментом при дослідженнях. Тому для отримання математичної моделі, що описує процес прогнозування кристалізації неорганічних речовин по стовбуру свердловини при видобуванні газу у статичному режимі роботи свердловини встановлено перелік властивостей C_m , з якими властивість C_0 зв'язана

відношенням (внутрішні властивості об'єкту і властивості зовнішнього середовища, що впливають на об'єкт). Описано властивості зовнішнього середовища, як зовнішні чинники x_n , (температура, тиск, мінералізація пластової води, дебіт свердловини), що впливають на шуканий показник Y , внутрішні властивості об'єкту, як параметри z_n , (компонентний склад пластової води, властивості наявних неорганічних речовин тощо). Невраховані властивості віднесено до групи чинників, що не враховуються w , (геологічна будова регіону де розміщенні свердловини, наявність/відсутність нагнітальних свердловин тощо).

Отже, зовнішні чинники: x_1 – температура, x_2 – тиск, x_3 – мінералізація пластової води, x_4 – дебіт свердловини; внутрішні властивості об'єкту: z_1 – компонентний склад пластової води; z_2 – властивості наявних неорганічних речовин; чинники, що не враховуються: w_1 – геологічна будова регіону розміщення свердловини; w_2 – наявність/відсутність нагнітальних свердловин

Тому об'єкт характеризуємо наступним функціональним відношенням між показниками його властивостей:

$$Y=f(x_1, x_2, x_3, x_4, z_1, z_2, w_1, w_2). \quad (1)$$

Проте в моделі відображаються тільки параметри об'єкту, які мають істотне значення для вирішення проблеми, що досліджується. Подібність моделі до оригіналу полягає в адекватності реакції Y моделі і оригіналу на зміну зовнішніх параметрів x_n . Тому в загальному випадку математична модель є функцією

$$Y' = f(x'_1, x'_2, x'_3, x'_4, x'_5, x'_6, p_1, \dots, p_m), \quad (2)$$

де p_m - (коефіцієнт швидкості проходження реакції, число Гіббса, ентропія хімічної реакції, шорсткість труб) внутрішні параметри моделі, адекватні параметрам оригіналу; p_1 – коефіцієнт швидкості проходження реакції, p_2 – число Гіббса, p_3 – ентропія хімічної реакції, p_4 – шорсткість труб. На рис.1 зображено інформаційну модель для прогнозування відкладення неорганічних речовин.

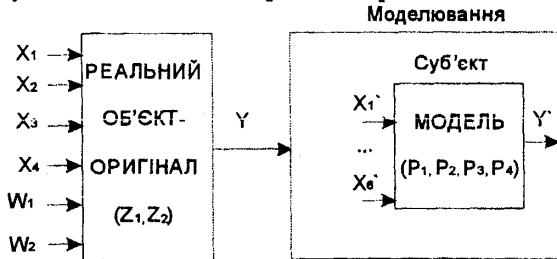


Рис. 1. Модель для прогнозування відкладень неорганічних речовин

Отже, на основі вище сказаного, розроблено математичну модель для прогнозу відкладень неорганічних речовин по стовбуру свердловини для багатокомпонентної системи при статичній роботі свердловин.

Для розробки математичних залежностей розрахунку фазових перетворень в однокомпонентній системі, результатом яких є відкладення солі у стовбурі свердловини здобувачем запропоновано наступну модель.

Внутрішня енергія характеризує усі власні запаси енергії в системі. Вона складається з енергії усіх видів руху і взаємодії тіл. Енергію атомізації кристалічних тіл і матеріалів можна розглядати як частину внутрішньої енергії, процентна частка якої від загальної кількості енергії є невідома. Однак повну сукупність усіх видів взаємодії складених елементів системи важко врахувати й оцінити кількісно. Тому неможливо визначити абсолютну величину внутрішньої енергії будь-якої системи.

У загальному випадку описано кінетику кристалізації, яка залежить від типу, кількості і ступеня подрібнення мінералів, складу і температури розчинів, апаратурних і технічних умов кристалізації.

Коефіцієнт швидкості кристалізації визначається за допомогою залежності:

$$k = \frac{(\mu^0 + R \times T \times \ln(\gamma \times c) + c \times dT) \times (n \times dT + n \times dT)}{(\mu^0 + R \times T \cdot \ln(\gamma \times c) + c \times dT)^2} \cdot \frac{(B + A + n \times c \times dT) \times \left(R \times T \times \frac{1}{\gamma \times c} + R \times \ln(\gamma \times c) + c + dT \right)}{(\mu^0 + R \times T \times \ln(\gamma \times c) + c \times dT)^2} \quad (3)$$

де dT – зміна температури на одиницю глибини; T – температура на відповідній глибині; L – глибина свердловини; R – універсальна газова стала; D – діаметр свердловини; c – концентрація солі у розчині по стовбуру свердловини; A, B, C – коефіцієнти для визначення залежності ентропії при даному температурному переході γ – коефіцієнт фугітивності відповідної речовини, μ^0 – значення хімічного потенціалу i -го газу при парціальному тиску рівному одиниці.

Математичну модель для знаходження товщини відкладень у стовбурі свердловини у процесі видобування газу можна подати у вигляді:

$$DX = \int_0^{\infty} \frac{(\mu^0 + R \times T \times \ln(\gamma \times c) + c \times dT) \times (n \times dT + n \times dT)}{(\mu^0 + R \times T \cdot \ln(\gamma \times c) + c \times dT)^2} \cdot \frac{(B + A + n \times c \times dT) \times \left(R \times T \times \frac{1}{\gamma \times c} + R \times \ln(\gamma \times c) + c + dT \right)}{(\mu^0 + R \times T \times \ln(\gamma \times c) + c \times dT)^2} \cdot D\pi l \cdot (c - a) dt \quad (4)$$

де DX – товщина утвореного шару неорганічних відкладень по стовбуру свердловини; T – температура на відповідній глибині; L – глибина свердловини; R – універсальна газова стала; D – діаметр свердловини; c – концентрація солі у розчині по стовбуру свердловини; A, B, C – коефіцієнти для визначення залежності ентропії при даному температурному переході γ – коефіцієнт фугітивності відповідної речовини, μ^0 – значення хімічного потенціалу i -го газу при парціальному тиску рівному одиниці.

Запропоновано використовувати залежності, які характеризують утворення кристалів неорганічного походження. Основою для створення залежностей було врахування надлишку вільної енергії у суміші (використовували вільну енергію Гіббса).

На основі наведеного вище отримаємо сукупність залежностей для визначення товщини шару відкладених неорганічних солей по стовбуру свердловини для багатоконпонентних систем у кінетиці при статичному режимі роботи свердловини.

Отже, для розрахунку товщини шару необхідно мати наступні дані:

- діаметр свердловини;
- діаметр молекули відповідної речовини (солі);
- концентрацію солі в суміші;
- коефіцієнт фугітивності;
- нормальний хімічний потенціал відповідної солі;
- питому теплоємність відповідної солі.

Величина товщини соляного шару залежить від розподілу температури і тиску по стовбуру свердловини. Тому для опису утворення неорганічних відкладів використовуємо загально відомі залежності, які використовують для родовищ на території України.

У **третьому розділі** досліджено, в загальному вигляді, математичну модель для прогнозування утворення відкладень у стовбурі свердловини при видобуванні газу і газоконденсату. Введено категорійну інтерпретацію предметної області на основі предикатних схем.

Категорійною специфікацією даних прогнозування неорганічних відкладень (ПНВ), вважаємо кортеж (C, M, F) де: C – скінченна категорія неорганічних відкладень; M – скінченна множина об'єктів в C ; $F: C_0 \rightarrow FinSet$ – функтор, де C_0 є дискретною категорією, множина об'єктів якої є множиною об'єктів C .

Предикатною схемою на множині унарних предикатів Π , згідно запропонованого підходу вважається об'єкт $\eta = (B^{(n)}, R^{(n)}, f_1^{(n)}, f_2^{(n)}, n^{(n)})$, де: кожному елементу приписаний відповідний предикат $(n: B^{(n)} \cup R^{(n)} \rightarrow \Pi)$; B – множина вершин інформаційного графа (рис. 2);

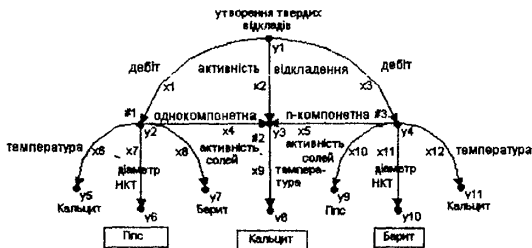


Рис.2. Описаний напрямлений інформаційний граф

Моделью ПНВ-специфікації даних вважатимемо кортеж (M, ψ, Π) де: $M: C \rightarrow FinSet$ є функтором, для якого кожний $\mu \in M$ є монострілкою; $\psi: M \circ I \rightarrow F$ – природне відображення, де $I: C_0 \rightarrow C$ є включенням; Π : предикатна схема задана на M , як множині інтерпретації даних про неорганічні відкладення.

R – множина дуг, а f_1 і f_2 – функції, які для кожної дуги визначають її початок і кінець.

Якщо C – дискретна категорія з двома об'єктами ($C = \{\text{відклади солей, мінералізована вода}\}$). Відкладення солей – тверді утворення у порах породи колектора, на стінках насосо-компресорних труб (НКТ), у наземному обладнанні; «Мінералізована вода» – високо мінералізований розчин, який містить ряд цінних компонентів і представляє інтерес, як гідромінеральна сировина, то можемо одержати предикатну схему інтерпретації зображену на рис.3.

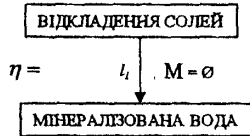
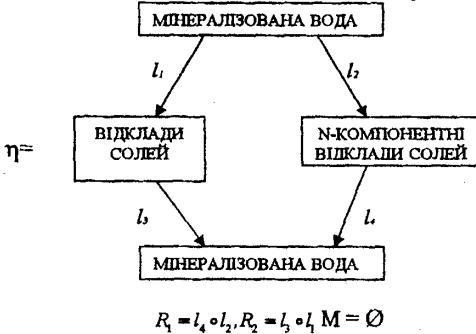


Рис.3. Предикатна схема інтерпретації даних про неорганічні відкладення

На рис.4 зображено предикатну схему інтерпретації даних про неорганічні відкладення. Ця специфікація показує, що «відклади солей» і «N-компонентні відклади солей» можуть визначатися через параметри, якщо вони належать до одного родо-вища. Такий вид конструкцій часто використовується на практиці.



$$R_1 = l_4 \circ l_2, R_2 = l_3 \circ l_1 \quad M = \emptyset$$

Рис.4. Предикатна схема інтерпретації даних про неорганічні відкладення

Означимо що 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 аналізу термодинамічних характеристик; R_2 – обмеження для характеристик покомпонентної концентрації солей.

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

Значне поширення технології інтелектуальних агентів зумовлено здатністю моделювати та підтримувати складні технологічні процеси. Опис предметної області здійснюється на основі організаційного контролю, довготермінових організаційних цілей, ролей, обов'язків інтелектуальних агентів, розвитку, підтримки, контролю прийнятих системою рішень. Це дозволяє формування директив, які забезпечують коректну і адекватну роботу як окремих агентів, зокрема, так і системи, в цілому. Створення мультиагентної системи у такому виконанні здійснюється за допомогою поставлених специфікацій організаційно-проектних рішень, організаційних цілей, вимог до роботи окремих агентів, даних про середовище у якому проходить процес. Відомими перевагами методу моделювання на основі інтелектуальних агентів є гнучкість, пристосованість та здатність до взаємодії з базами даних і базами знань.

Як показує досвід експлуатації газових об'єктів процес їх розробки відзначається слабкою структуризацією даних, деякі з параметрів є невизначеними або недостатньо точними.

Основною організаційною метою прогнозування можливості утворення неорганічних відкладень по стовбуру свердловини є одержання відомостей про аналіз пластової води, температури і швидкості газу(газоконденсату), знань про геологічну будову розміщення родовища; кількісні та якісні характеристики свердловин видобувного фонду.

Представимо функціонально-організаційну структуру опису предметної області у вигляді, що зображено на рис.5, де НР – неорганічні речовини, ПВ – пластова вода.

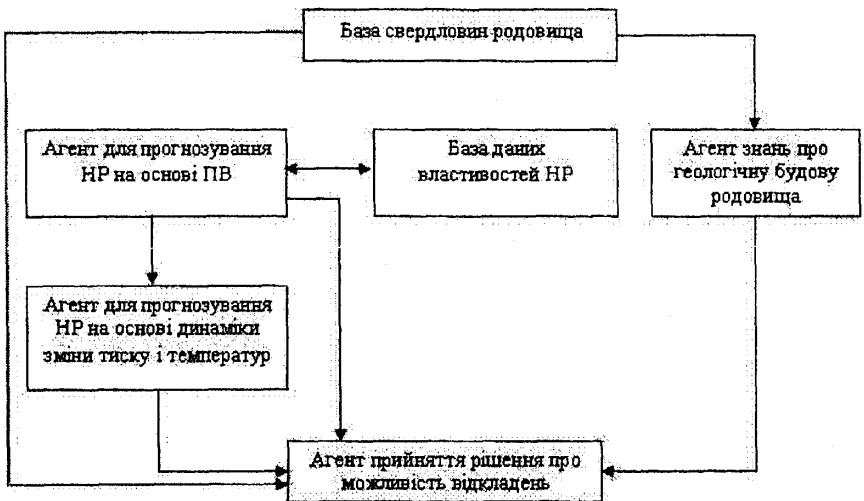


Рис.5. Функціонально-організаційна структура інформаційного опису процесу відкладень

З рис.5 видно, що «Агент прийняття рішення про можливість відкладень» знаходиться на верхньому рівні організації і відповідає за довготривалу ціль. «Агент

для прогнозування НР на основі аналізу ПВ», «Агент для прогнозування НР на основі динаміки зміни тиску і температури» і «Агент знань про геологічну будову родовища» відповідно відповідають за формування проміжних висновків на основі даних отриманих як з уже сформованих баз даних і баз знань, так і на основі даних, які агенти одержують від своїх сенсорів в реальному режимі часу. Як «Агент для прогнозування НР на основі динаміки зміни тиску і температури» можна запропонувати математичну модель.

На наступному етапі задаємо цілі і підцілі роботи мультиагентної системи. Головна ціль – прогноз відкладень по стовбуру свердловини. Підцілями є одержання інформації про: динаміку зміни властивостей пластової води, динаміку зміни тиску, одержання інформації про динаміку зміни температури, склад порід, відомості про розробку відповідного родовища.

Далі формулюються організаційні ролі наших агентів (табл. 1-2).

Таблиця 1

Статична модель середовища

Вміст солей у пластовій воді	0-200 мг/л
Якісний склад солей	0-10
Температура газу	293-440 К
Швидкість газу	2,0-8,0 м/с
Глибина свердловини	2000-5000 м
Діаметр експлуатаційних труб	114-168 мм

Таблиця 2

Динамічна модель середовища

Динаміка вмісту солей у пластовій воді	0-200 мг/л
Динаміка зміни тиску	20 Мпа
Динаміка зміни температури	293-440 К
Швидкість руху газу по стовбуру свердловини	2,0-8,0 м/с

Нехай Md^1 – модель предметної області – прогнозування відкладень. Вихідні дані її опису представляються у вигляді ортежі

$$Md^1 = \{f_i^1, f_i^2, r_{f_i}, r_{r_i}\}, \quad (5)$$

де f_i^1 – специфікація користувача, яка характеризує особливості середовища у статистиці (результати аналізу пластової води, зміна тиску і температури по стовбуру свердловини), f_i^2 – специфікація користувача, яка характеризує особливості середовища у динаміці (динаміка зміни температури і тиску по стовбуру свердловини), $r_{f_i}, r_{r_i} \in R$ – обмеження, які накладаються на функціональність агентів в просторі станів R .

Організація розподілу вимог агентів задається множиною Md^2 , яка інтерпритується як множина пар (атрибут - значення):

$$Md^2 = \{h_i, v_{h_i}\}, \quad (6)$$

де h_i – функціональна особливість агентів, у нашому випадку це функціональна можливість агентів генерувати попередні висновки щодо утворення відкладень, $v_h \in R$ – її значення.

Для візуалізації представлення ролевої та цільової структури виконаємо побудову організаційного графа (рис.6), на основі якого задається множина ролей.

Як базові вводимо ролі, які буде виконувати система для прогнозування відкладень, а саме: координація потреб і знань (r_1), генерація попередніх висновків (r_2). Якщо агенти, які входять в систему опису процесу прогнозування утворення відкладень, будуть виконувати приписані ролі, тоді система зможе робити адекватні висновки про можливість виникнення відкладень у тій чи іншій свердловині. Ефективність функціонування агентів здійснюється координуванням їх організаційної діяльності за допомогою організаційних цілей. За умови існування багатьох координуючих ролей в предметній області потрібно, щоб кожна організаційно-координуюча ціль виконувалась.

У динаміці процесу кожна ціль G розділяється на підцілі, що досягається за допомогою ролей, які є основою правильної організації цілей. Кожна роль RL , має список прив'язки SP_i , наприклад для дій аналізу властивостей пластової води – інформація про присутні неорганічні речовини, їх концентрацію і властивості.

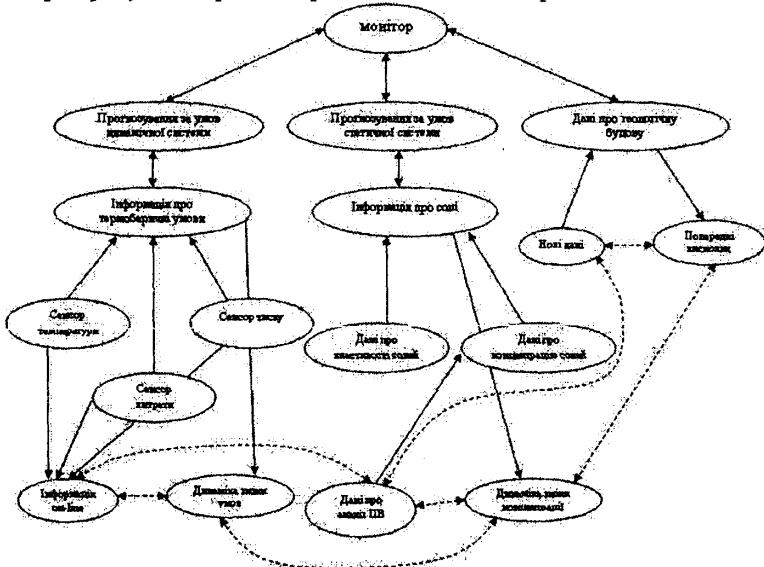


Рис.6. Граф організації опису предметної області – відкладень неорганічних речовин по стовбуру свердловини

Введено функції якості QF_1^1, QF_2^2 для контролю виконання функцій-вимог RF_1^1, RF_2^2 (прогнозування процесу у статичній та динамічній відповідно), функція GF ,

(прогнозування неорганічних відкладень), яка виконує свою роль коли використовується група агентів. У кінцевому підсумку задається множина ролей RL :

$$RL = \{RL_i\} = \left\{ \{SP, QF_i^1, QF_i^2, RF_i^1, RF_i^2, GF_i\} \right\}. \quad (7)$$

Формула 7 специфікує списки прив'язок на основі цілей, які поставлено перед мультиагентною системою.

На основі організації вимог до агентів та введені ролей для них, будемо алгоритм роботи мультиагентної системи підтримки прийняття рішень при прогнозуванні відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини рис.7.

У результаті композиції методу прямої побудови ланцюжка і методу пошуку в ширину створюється процес, відповідно до якого одне припущення може бути підтверджене на основі вже прийнятих попередніх рішень. Той факт, що агент раціональний і діє відповідно до правил побудови міркувань, дозволяє розробнику зосередитися на коректному моделюванні задачі, що виконується агентом, а не на прагненні явно керувати паралелізмом у програмі. Це обґрунтування повинно спиратися на чітко визначені правила та вид міркувань. Взаємодію агентів простіше представити, ніж взаємодію анонімних модулів, оскільки границі між агентами більш чіткі й очевидні. Знання, необхідні кожному агенту для досягнення його мети, у цьому випадку легко визначаються.

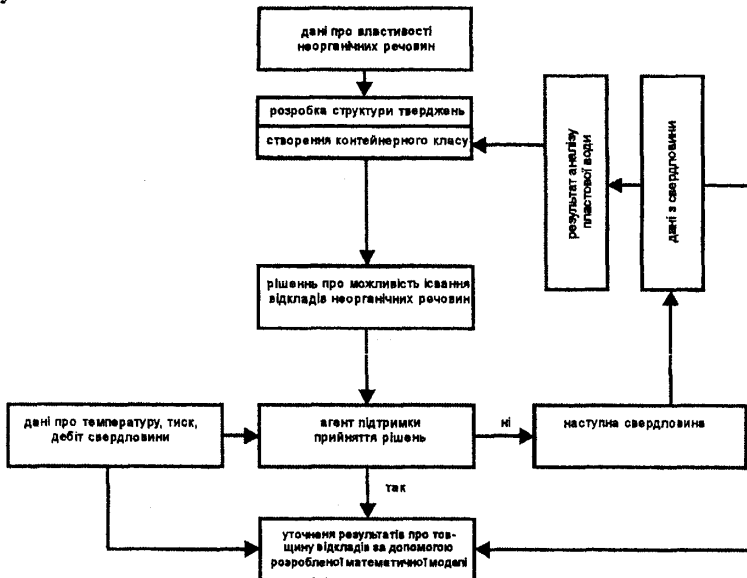


Рис.7. Алгоритм роботи мультиагентної системи підтримки прийняття рішень при прогнозуванні відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини.

У результаті означення методів отримання інформації про об'єкт і процес дослідження введено структурно-функціональну мульти-агентну модель для опису процесу дослідження представлену на рис. 8.

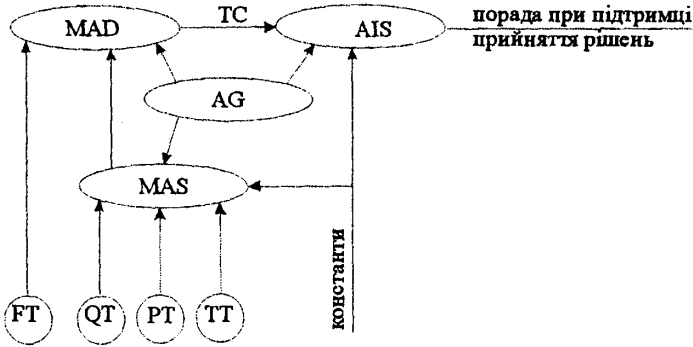


Рис. 8. Структурно-функціональне представлення агенто-орієнтованої схеми прогнозування відкладення неорганічних речовин по стовбурі свердловини

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.

У випадку коли є рух рідини, тобто на процес відкладення солей у динаміці, буде впливати навіть невелика зміна тиску по стовбурі свердловини. Тому загальна модель прогнозу товщини неорганічних відкладень (формула 3) трансформується до вигляду

$$DX = \int_0^{\infty} \frac{(\mu^0 + R \cdot T \cdot \ln(\gamma \cdot c) + c \cdot dT + L\pi D^2/4(g\rho z + 2\lambda\rho w^2/D)) \cdot (n \cdot c + n \cdot dT)}{(\mu^0 + R \cdot T \cdot \ln(\gamma \cdot c) + c \cdot dT + L\pi D^2/4(g\rho z + 2\lambda\rho w^2/D))^2} \cdot \frac{(B + A + n \cdot c \cdot dT) \cdot \left(R \cdot T \cdot \frac{1}{\gamma \cdot c} + R \cdot \ln(\gamma \cdot c) + c + dT \right)}{(\mu^0 + R \cdot T \cdot \ln(\gamma \cdot c) + c \cdot dT + L\pi D^2/4(g\rho z + 2\lambda\rho w^2/D))^2} \cdot D\pi l \cdot (c - a) dt \quad (8)$$

На основі проведеного дослідження зроблено висновок, що для розрахунку товщини шару необхідно мати наступні дані: діаметр свердловини, D ; діаметр молекули відповідної речовини (солі), d ; концентрацію солі в суміші, c ; коефіцієнт фугитивності, γ ; нормальний хімічний потенціал відповідної солі, μ ; питому теплоємність відповідної солі, C ; швидкість газу, w ; коефіцієнт гідравлічного тертя, λ ; густину газу, ρ .

Отже здійснивши виділення основних інформаційних потоків, які характеризують процес утворення неорганічних речовин, запропонувавши та обґрунтувавши вибір математичних підходів, які покращують якісну і кількісну оцінку прогнозного значення утворених відкладів, отримали змогу здійснити підтримку прийняття рішень при попередженні аварійних ситуацій у процесі розробки нафтогазових родовищ.

У четвертому розділі, враховуючи аналіз існуючих підходів, які висвітлюють проблему утворення відкладень неорганічних речовин у стовбурі свердловини, зроблено висновок, що проблема ця існує, спроби її вирішити були, але тільки для окремих неорганічних речовин. Оскільки більшість родовищ на території України знаходяться на пізніх стадіях розробки, то вирішення проблеми прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини має і економічний аспект. Перераховані вище формальні та математичні представлення процесу утворення неорганічних відкладень по стовбуру свердловини при видобуванні газу дали можливість провести алгоритмізацію для створення інтелектуальної системи з метою підтримки прийняття рішень при контролі товщини кристалічних на шарувань, у стовбурі експлуатаційних свердловин, неорганічного походження.

Запропоновано методику прогнозування фазових перетворень у стовбурі свердловини, яку можна представити у вигляді загального графічного алгоритму рис.9.

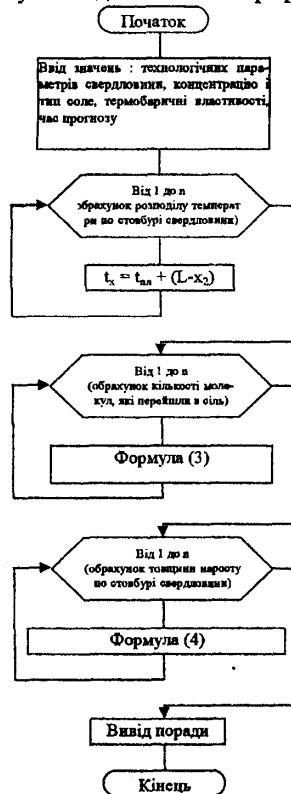


Рис.9. Блок-схема алгоритму розрахунку фазових перетворень

Розроблена методика прогнозування відкладень неорганічних речовин по стовбуру свердловини при керуванні процесом експлуатації базується на використанні теорії категорій, мульти-агентного підходу до побудови інформаційних систем та інформації про технологічні параметри процесу видобутку газу. Поеднання математичного опису процесу кристалізації у статисти, основних принципів теорії категорій та мульти-агентного підходу дозволило узагальнити попередні здобутки у даній проблематиці та створити інтелектуальну-інформаційну систему для прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини.

На основі графічного алгоритму та мови програмування Delphi створено програмний продукт, інтерфейс якої представлений на рис.10.

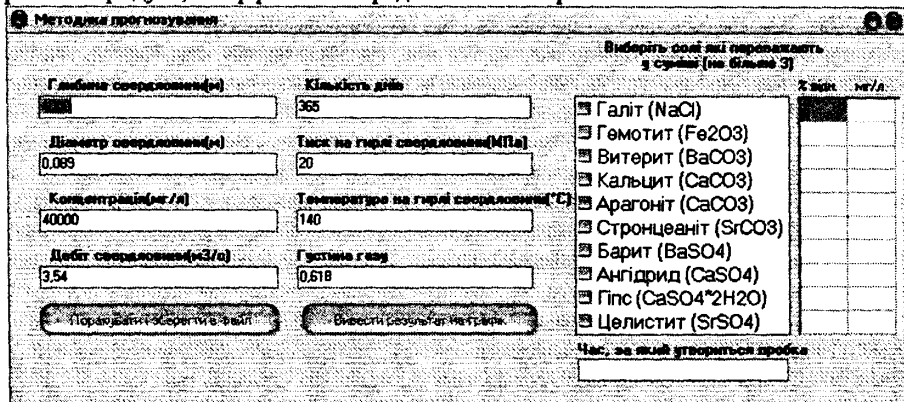


Рис.10. Головне вікно програми MFPView.exe

Проведено тестування програмного продукту з використанням практичних даних, які було надано НГДУ «Полтаванафтогаз», за дозволом ВАТ «Укрнафта».

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 солевідкладення, що підтверджує правильність теоретичного вибору основних інформаційних потоків, які характеризують процес відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини при видобутку газу.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі розв'язано важливе науково-практичне завдання з підтримки прийняття рішень при прогнозуванні процесу утворення неорганічних речовин у стовбурі газових свердловин. За результатами виконання роботи можна відмітити наступне:

1. Проаналізовано теорію фазових перетворень та виявлено параметри, які її характеризують з метою прогнозування процесу утворення неорганічних відкладів по стовбуру свердловини, що дало змогу формалізувати процес їх утворення.

2. Удосконалено математичні залежності фазових перетворень не вуглеводневих систем у статичному та динамічному режимі свердловин пробурених для видобутку газу, що дозволяє описувати поведінку водосольових розчинів.

3. Вперше запропоновано методику розрахунку прогнозного значення товщини шару багатокомпонентних неорганічних відкладень на основі інформаційно-математичного обґрунтування основних параметрів, які характеризують поведінку не вуглеводневих систем по стовбуру свердловини з метою раціональної розробки родовища.

4. Вперше запропонована інтелектуальна система підтримки прийняття рішень при прогнозуванні відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини на основі використання категорійної формалізації, що дало змогу підвищити ефективність експлуатації свердловини, з врахуванням наявності нечітких, протирічливих та неструктурованих даних.

5. Удосконалено функціональну структуру інформаційної моделі прийняття рішень при експлуатації свердловин на основі використання агента-орієнтованого підходу, що покращує техніко-економічні показники розробки нафтогазових родовищ.

6. Реалізовано та протестовано запропоновану інтелектуальну систему підтримки прийняття рішень при прогнозуванні процесу утворення неорганічних відкладів у стовбурі свердловини. Реалізація системи дає можливість ефективного управління роботою як окремої свердловини так і родовища в цілому.

СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Яцишин М.М. Математична модель процесу кристалізації однокомпонентних солей у стовбуру експлуатаційної свердловини/ Яцишин М.М., Дитко Т.В., Бронівський І.В. //Розвідка та розробка нафтових родовищ. -2005. - 4(17).- С.42-45. (Особистий внесок – аналіз попередніх досліджень, постановка завдання, розробка моделі опису процесу прогнозування відкладення неорганічних речовин, участь в обговоренні отриманих результатів та формуванні висновків, 90 %).

2. Юрчишин В.М. Застосування теорії категорій для аналізу прийняття технологічних рішень при розробці нафтових родовищ/ Юрчишин В.М., Шекета В.І., Яцишин М.М. // Нафтогазова енергетика. -2006. - №1. – С. 38-42 (Особистий внесок - аналіз попередніх досліджень, інтерпретація прийнятих технологічних рішень, формулювання висновків, 60 %).

3. Юрчишин В.М. Методика формування баз знань експертних систем для аналізу режимів роботи нафтових родовищ / Юрчишин В.М., Яцишин М.М., Випасняк Л.І. // Нафтогазова енергетика. -2007. -№1. – С. 22-26 (Особистий внесок - аналіз режимів роботи нафтогазових родовищ, участь в обговоренні отриманих результатів та формуванні висновків, 60 %).

4. Яцишин М.М. Інтелектуальна система для прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини / Яцишин М.М. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки – 2007. - № 6. -Т.1 (100). – С. 156-160.

5. Яцишин М.М. Інформаційно-категорійна формалізація процесу утворення неорганічних відкладів по стовбуру свердловини при видобутку вуглеводнів / Яцишин М.М. // Східно-Європейський журнал передових технологій. -2007. -№ 6/5(30). - С. 20-22.

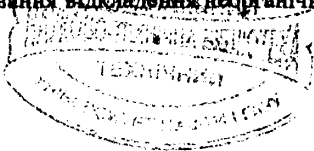
6. Юрчишин В.М. Математична модель процесу кристалізації однокомпонентних солей у стовбурі експлуатаційної свердловини / Юрчишин В.М. Яцишин М.М. // XXII міжнародна міжвузівська школа-семинар «Методи і засоби технічної діагностики». - Івано-Франківськ - листопад .- 2005 р.- 6 с. (Особистий внесок - аналіз попередніх досліджень, ідея, участь в обговоренні отриманих результатів та формуванні висновків, 85 %).

7. Яцишин Н.Н. Категорійна формалізація структури електронних інформаційних ресурсів прогнозування неорганічних откладень / Яцишин Н.Н., Випасняк Л.І., Шевчук О.Е // Матеріали VI міжнародна науково-технічна конференція «Електронні інформаційні ресурси: проблеми формування, обробки, розповсюдження, захисту і використання – 2006», Київ, ноябрь 2006 г.: тези доповідей. - К.:УкрІНТЭИ, 2006.- С. 9-11 (Особистий внесок - аналіз структури інформаційної системи опису процесу підтримки прийняття рішень при прогнозуванні відкладення неорганічних речовин, 85 %).

8. Шекета В.І. Категорійний підхід до формалізації нафтогазової предметної області на основі предикатних схем / Шекета В.І., Випасняк Л.І., Яцишин М.М. // Матеріали I-ї Міжнародної конференції молодих науковців «CSE - 2006», Львів, 11-13 жовтня 2006 р.: тези доповідей. – Львів, 2006 .- С.113-119 (Особистий внесок – участь у постановці завдання, підбір формального апарату для опису об'єктів нафтогазової області, формулювання висновків, 75%).

9. Побудова мультиагентної моделі інтелектуальної системи для прогнозування неорганічних відкладень / Шекета В.І., Яцишин М.М., Випасняк Л.І., Шевчук О.Є. // Матеріали III міжнародної конференції – Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем «ТАAPSD'2006», Київ, 5-8 грудня 2006 р.: тези доповідей. – Київ, 2006. -С. 147-151 (Особистий внесок - участь у постановці завдання, створення мультиагентної системи для прогнозування неорганічних відкладень по стовбуру свердловини, участь в обговоренні отриманих результатів та формуванні висновків, 75 %).

10. Яцишин М.М. Інформаційне моделювання процесу відкладення неорганічних речовин по стовбуру свердловини / Яцишин М.М., Випасняк Л.І., Бурма С.В. //Матеріали міжнародної науково-технічної конференції "Ресурсозберігаючі технології у нафтогазовій енергетиці" "ІФНТУНГ - 40", Івано-Франківськ, -16-20 квітня .- 2007 р.: анотації. Івано-Франківськ, 2007 р – С. 63 (Особистий внесок – постановка завдання, створення інформаційної моделі опису потоків даних про процес прогнозування відкладення неорганічних речовин, формулювання висновків, 90%).



11. Яцишин М.М. Формалізація процесу утворення неорганічних відкладів по стовбуру овердловини при видобутку вуглеводнів / Яцишин М.М., Горбаль М.Б., Юрчишин В.М. // Матеріали X Міжнародної науково-технічної конференції «Системний аналіз та інформаційні технології», Київ, 20-24 травня 2008р.: тези доповідей. - Київ: НТУУ «КПІ», 2008. – С. 170 (Особистий внесок - постановка завдання, формалізація процесу прогнозування відкладення неорганічних речовин, формулювання висновків, 90%).

АНОТАЦІЯ

Яцишин М.М. Комп'ютерне моделювання та прогнозування відкладення неорганічних речовин у стовбурі газових свердловин.- Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2010.

Дисертація присвячується аналізу сучасного стану у розробці методів управління при підтримці прийнятих рішень у процесі прогнозування утворення відкладень неорганічних речовин, виділено основні параметри, які характеризують процес кристалізації солей у стовбурі свердловини. Розроблено математично-інформаційну модель прогнозування процесу утворення неорганічних відкладів по стовбуру свердловини. Введено підхід до опису процесу прогнозування утворення неорганічних відкладень по стовбуру свердловини за допомогою теорії категорій. Розроблено алгоритм інформаційної системи підтримки прийняття рішень при прогнозуванні неорганічних речовин по стовбуру свердловини при видобутку газу.

Ключові слова: стовбур свердловини, неорганічні відкладення, теорія категорій, математична модель, мультиагентна система, підтримка прийнятого рішення, управління.

АННОТАЦИЯ

Яцишин М.М. Компьютерное моделирование и прогнозирование отложенных неорганических веществ в стволе газовой скважины. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2010.

Диссертация посвящается анализу современного состояния в разработке методов управления при поддержании принятых решений в процессе прогнозирования образования отложенных неорганических веществ, выделены основные параметры, которые характеризуют процесс кристаллизации солей в стволе скважины.

Исследовано закономерности, характеризующие прогнозирования образования отложенных в неорганических системах при добыче углеводородов, что основано на зависимостях, которые используют на нефтегазодобывающих предприятиях Украины. Разработана математически-информационная модель прогнозирования процесса

образования неорганических отложений по стволу скважины. Введен подход к описанию процесса прогнозирования образования неорганических отложений по стволу скважины с помощью теории категорий.

Выполнено построение функциональной структуры модели с помощью агенто-ориентированного подхода для нефтегазовой предметной области. Разработан алгоритм информационной системы поддержки принятия решений при прогнозировании неорганических веществ по стволу скважины при добыче газа.

Разработана математическая модель прогнозирования процесса образования неорганических отложений на стенках ствола скважины при добыче газа, что, в отличие от существующих, позволит описывать их образования при многокомпонентности неорганической системы. Выполнено построение и реализацию интеллектуальной системы прогнозирования отложений неорганических веществ по стволу скважин пробуренных для добычи газа, что позволяет принятия эффективных решений при добыче газа.

Ключевые слова: ствол скважины, неорганические отложения, теория категорий, математическая модель, мультиагентная система, поддержка принятого решения, управление.

ABSTRACT

Yatsyshyn M.M. Computer modeling and prediction of deposition inorganic substances in the barrel of gas wells. – Manuscript.

Dissertation on competition for a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.13.07 – automation of control processes. Ivano-Frankivsk National Technical Oil and Gas University. - Ivano-Frankivsk, 2010.

The dissertation is devoted to analyzing the current state development methods of management in support decisions in the process of prognostication the formation inorganic deposits, basic parameters that characterize the process of the salts crystallization in the hole. The mathematical model of prognostication and information process formation of inorganic deposits on the mining hole is developed. Approach introduced to describe the process of prognostication the formation of inorganic deposits in the hole by the theory of categories. A algorithm information system for decision support in predicting inorganic substances in the mining hole in the extraction of gas.

Keywords: mining hole, inorganic deposits theory of category, mathematical model, multiagent system, decision support, management.

НТБ
ІФНТУНГ



an2181

Видавництво Івано-Франківського національного
технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ)

вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019. тел. 4-24-53, 99-33-20

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців ІФ № 18 від 12.03.2002 р.

Підписано до друку 5.05.2011р. Формат 60×84^{1/16}

Ум. друк. арк. 0,9 Тираж 100 прим. Замовл. 106

Віддруковано на різнографі