

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ПРОБЛЕМ МАТЕМАТИЧНИХ МАШИН І СИСТЕМ**

**ШЕКЕТА ВАСИЛЬ ІВАНОВИЧ**

УДК 004.896:622.24

**МЕТОДОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У  
ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ  
КЕРУВАННЯ БУРІННЯМ**

05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис

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

**Науковий консультант**

доктор технічних наук, професор  
**Юрчишин Володимир Миколайович**,  
Івано-Франківський національний технічний  
університет нафти і газу Міністерства освіти і  
науки України,  
завідувач кафедри програмного забезпечення  
автоматизованих систем

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Литвинов Віталій Васильович**,  
Чернігівський національний технологічний  
університет Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри інформаційних технологій та  
програмної інженерії

доктор технічних наук, професор  
**Шерстюк Володимир Григорович**,  
Херсонський національний технічний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
професор кафедри інформаційних технологій

доктор технічних наук, професор  
**Шостак Ігор Володимирович**,  
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.  
Жуковського «Харківський авіаційний інститут»  
Міністерства освіти і науки України,  
професор кафедри інженерії програмного  
забезпечення

Захист відбудеться « 27 » вересня 2017 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.204.01 в Інституті проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, м. Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Інституту проблем математичних машин і систем НАН України за адресою: 03187, м. Київ-187, проспект Академіка Глушкова, 42.

Автореферат розісланий « 27 » \_\_\_\_\_ липня \_\_\_\_\_ 2017 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



М.Г. Ієвлєв

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Розвиток нафтової та газової промисловості характеризується зростанням обсягів пошуково-розвідувального буріння свердловин в 6 разів порівняно з 2005 р., як це передбачено «Енергетичною стратегією України до 2030 року».

Буріння нафтових і газових свердловин (НГС) як об'єкт керування у загальному випадку є складним нестационарним технологічним процесом реального часу, який протікає за відповідних фізико-механічних властивостей гірських порід, що характеризують умови буріння. Проблемам розробки інформаційних моделей для побудови знання-орієнтованих інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень та автоматизації керування процесом буріння НГС на їх основі присвячено теоретичні та прикладні дослідження таких вчених, як Семенцов Г.Н., Горбійчук М.І., Когуч Я.Р., Тцанг Е., Бартак Р., Дехтер Р., Бурджоун А.Т, Янг Ф.С., Крижанівський Є.І., Грехем Й.В., Мюнх Н.Л, Маурер В.С., Галле І.М., Вудс А.В., Ситников Н.Б., Чудик І.І., Рід Р.Л., Акбулатов Т.О., Акчурін Х.І., Левінсон Л.М., Аль-Бетайрі І.А., Мусса М., Аль-Отейбі С., Реза М.Р., Алькосер С.Ф., Миска С., Войнановіч А.К., Куру І., Майдла І. І., Охара С., Песіє Р.С., Феєр М.Й., Купер Г.А., Сантос О.Л., Дубинський В.С., Бекер Д.Р., Самуель Г.Р., Перейра Й.Й., Мільхайм К.К., Сомов В.Ф., Мінлікаєв В.З., Десятків В.М., Юрчишин В.М. та цілий ряд інших. Результати даних досліджень показують, що буріння нафтогазових свердловин – стохастичний, нелінійний, нестационарний процес, що розвивається в часі і функціонує за умов апріорної невизначеності щодо параметрів і структури об'єкта під впливом завад.

Незважаючи на те, що питанню керування процесом буріння присвячено багато теоретичних і практичних досліджень, а також нагромаджено значні об'єми експериментальних даних, проте, відсутні однозначно науково обґрунтовані представлення методологій, методів та алгоритмів контролю керованих змінних в залежності від заданих умов буріння, що, відповідно, могли б слугувати основою для створення інформаційних моделей підтримки прийняття рішень у знання-орієнтованих системах.

Тому проблема створення інформаційних моделей контролю процесу буріння, ідентифікації їх параметрів, синтезу алгоритмів контролю та реагування на зміни умов буріння шляхом модифікації відповідних керованих змінних процесу, а також розробка методологій, методів і алгоритмів побудови процедур підтримки прийняття рішень у знання-орієнтованих системах в умовах невизначеності є актуальною для нафтогазовидобувної галузі України, яка гостро потребує створення нових високоефективних інтелектуальних рішень та систем.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Вибраний напрямок досліджень є складовою частиною тематичного плану Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ) і базується на результатах виконання науково-дослідних тем:

– “Розробка теоретичних та прикладних концепцій застосування сучасних інформаційних технологій в нафтогазовій галузі” 2008 – 2012 рр. (затв. Науковою радою ІФНТУНГ, протокол № 3/48 від 08.09.2008);

– “Синтез комп’ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об’єктів нафтогазового комплексу” (номер державної реєстрації 0111U005890).

Із вищеназваних тем НДР автор був безпосереднім виконавцем робіт щодо розробки інформаційних моделей інтелектуальних методів і систем підтримки прийняття рішень у процесі буріння нафтових і газових свердловин.

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка теоретичних основ та формальних інформаційних моделей для методології моделювання підтримки прийняття рішень у середовищі у знання-орієнтованій інформаційній технології, базується на методах і алгоритмах контролю та модифікації керованих змінних режиму процесу буріння НГС на основі сформованих та динамічно оновлюваних сутностях знань з формалізованим експертним досвідом висококваліфікованих операторів технологічного процесу буріння.

Досягнення вказаної мети забезпечується в дисертаційній роботі шляхом розв’язання таких взаємопов’язаних задач:

1) введення формулювання технологічної проблеми в термінах повного (часткового) задоволення обмежень як інформаційної моделі, що дозволить при потребі введення послаблень жорсткості формулювань і відповідної оптимізації початкової проблеми шляхом послаблення системи обмежень, яка на даному етапі не має рішення, тобто є видом надобмеженого представлення сутності знань;

2) побудова семантичної основи інтерпретації запитів оператора технологічного процесу в знання-орієнтованій системі в формі інформаційних моделей модифікаційних предикатних запитів, що є засобами опису і вивчення процесів оновлення й модифікації входжень даних та знань у відповідних конструкціях знання-орієнтованих систем та підтримки прийняття рішень на їх основі;

3) виконання розширення базової семантики запитів у знання-орієнтованих системах до класу модифікаційних предикатних запитів з дозволеними композиційними виразами в правилах, що формуються з модифікаційних літералів за допомогою бінарних операторів диз’юнкції та кон’юнкції;

4) побудова способу обчислення “знизу-вверх” конкретних семантик для формальних описів абстрактних модифікацій запитів і визначення, яким чином процес обчислення семантик може бути імплементований через використання еластичних семантик, а саме, для випадку семантичного аналізу модифікаційних запитів абстрактну компіляцію слід розглянути як один із видів застосування абстрактної інтерпретації, який дозволяє виконувати абстрагування на множині обмежень, що описують запит у знання-орієнтованій системі до початку застосування процедури обчислення абстрактного фіксованого значення;

5) виконання оголошення домену для аналізу розділення і незв’язності змінних модифікаційних запитів. Інформацію про множини, системи та ієрархії обмежень накладені на керовані змінні, слід використати як основу для виконання їх розділення. Аналіз незв’язності оперує з проблемою визначення підмножини змінних, які гарантовано будуть зв’язані із виділеними змінними в конкретний

заданий момент виконання запиту у знання-орієнтованій системі. В загальному випадку аналіз розділення матиме справу із визначенням надмножини для множини змінних, яка визначає розділення змінних у кожний конкретний момент виконання запиту;

б) побудова розширення загальної категорійної інтерпретації логіки першого порядку, в якому, замість розгляду цілей на множині сутностей знань, як монострілок у базовій категорії використовуватиметься індексована категорія над заданою базовою, а об'єкти на шарах будуть категорійними відповідниками модифікацій заданого типу. Проектовані індексовані категорії (в формі категорійних стратегій) використовуватимуться для моделювання синтаксису і семантики для механізму функціонування запитів у знання-орієнтованій системі як інструменту підтримки прийняття рішень щодо керування технологічним процесом у формі дедуктивних стратегій;

7) побудова базової категорії, що представляє собою універсум усіх можливих станів технологічного процесу на рівні інформаційних моделей, до яких може привести виконання запиту на модифікацію значень контрольованих параметрів. Для кожного стану відповідний шар представляє множину категоризованих дедукцій у знання-орієнтованій системі, які можуть бути виконані.

*Об'єктом дослідження* є процеси підтримки прийняття рішень при бурінні НГС, що визначаються наборами керованих змінних, модифікація яких задає їх перебіг та слугує основою побудови інтелектуальних рішень засобами знання-орієнтованих систем.

*Предметом дослідження* є інформаційні моделі, методології, методи, технології та знання-орієнтовані системи підтримки прийняття рішень щодо модифікації керованих змінних технологічного процесу для вибору та утримання відповідного режиму буріння НГС.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач у роботі проведені теоретичні дослідження з використанням методів порівняльного аналізу, систематизації й узагальнення (для аналізу автоматизованих систем керування процесом буріння, структури прийняття рішень); системного підходу; формально-логічних досліджень із використанням базового апарату на основі теорії представлення та задоволення обмежень, теорії категорій, теорії графів та логіки предикатів (для побудови розширення у вигляді формальних конструкцій представлення та використання знань про технологічний процес буріння); методів теорії множин (для моделювання функціональності складових системи); методів нечітких множин і теорії ймовірності (для опису множин, систем та ієрархій обмежень, опису процесу прийняття рішень); методів математичної статистики (для оцінки характеристик режимів буріння).

### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше запропонована концепція інформаційного моделювання підтримки прийняття рішень у знання-орієнтованих системах, що, на відміну від інших підходів, базується на концепції представлення і задоволення накладених множин, систем та ієрархій обмежень, яка дозволяє максимально ефективно накопичення та використання експертного досвіду при виборі й утриманні відповідного режиму буріння НГС.

2. Вперше для нафтогазової предметної області представлено принципи застосування міркувань на основі обмежень як парадигми для формулювання знань, що, на відміну від інших відомих парадигм, імплементує входження виду «умова релевантності – умова задоволення» й дозволяє виконання пошуку часткових або нових рішень для наперед заданих видів виразів, утворених із таких змінних шляхом представлення та задоволення обмежень.

3. Вперше виконано застосування алгебраїчного підходу з метою отримання абстрагованої ціленезалежної семантики для контролю процесу модифікації запитів оператора, що, на відміну від інших підходів, базується на накладених множинах, системах та ієрархіях обмежень й дозволяє отримувати характеристики, які є коректними для кожного можливого запиту у знання-орієнтованій системі та його модифікацій відповідно.

4. Вперше розроблено підхід до інформаційного моделювання, що на відміну від існуючих, базується на використанні множин залежностей у формі стрілок, що є ефективним з точки зору абстрактності аналізу, оскільки формальний опис процедур модифікації не є статичним. Це дозволяє досягнення задовільного рівня точності шляхом вираження властивості базовості виділеної змінної як наслідку релевантної базовості інших контрольованих змінних.

5. Отримали подальший розвиток семантичні стратегії, згідно з якими всі зміни, що відбуватимуться у входженнях сутностей знань, розглядаються як наслідок модифікаційних предикатних запитів, які генеруються знання-орієнтованою системою відповідно до вказівок оператора технологічного процесу, що, на відміну від інших підходів, використовує як основу набори модифікаційних предикатних правил, які задають логічні обмеження на множині знань у формі множин, систем та ієрархій з входженнями виду «умова релевантності – умова задоволення», що дозволяє досягнення відповідного режиму перебігу технологічного процесу: раціонального, оптимального, ефективного, спеціального, форсованого, швидкісного, силового і т.п.

6. Покращено ефективність інтерпретації запитів оператора технологічного процесу у знання-орієнтованій системі на основі використання коефіцієнтів впевненості в формі відповідних міток, що, на відміну від інших підходів, базується на множині модифікаційних правил із мітками, що дозволяє формувати вагові суми на відповідних рівнях для множин, систем та ієрархій обмежень, накладених згідно отриманими характеристиками релевантності.

7. Отримали подальший розвиток абстрактні семантики для відслідковування можливих варіантів виконання запитів оператора та їх модифікації, де, на відміну від інших підходів, вводиться початкове означення для систем обмежень, що накладаються на множину змінних (параметрів), як структури даних з введеними операціями і виділеними елементами, що дозволяє отримання релевантних та коректних способів оцінювання множини можливих цілей модифікації запитів у знання-орієнтованій системі.

8. Удосконалені принципи обробки запиту оператора шляхом виклику релевантного шаблону в формі шеми, що, на відміну від існуючих процедур є, важливим для виконання аналізу запиту оператора та його відповідної модифікації, і дозволяє описувати множину всіх можливих підстановок аргументів (значень

керованих параметрів) у момент виклику шаблону, заданого в рамках семантики, що описує знання-орієнтовану систему.

9. Отримали подальший розвиток способи інтерпретації запитів оператора технологічного процесу в середовищі знання-орієнтованої системи, який полягає в тому, що, на відміну від інших підходів, керовані параметри (змінні) використовуються для представлення аргументів кожного виклику шаблону, що дозволяє вибір під час роботи процедури модифікації найбільш релевантної шемі.

10. Удосконалено процедуру лінійного уточнення доменів представлення знань для модифікації запитів, яка, на відміну від існуючих, може розглядатися як процес компіляції і, таким чином, лінійне уточнення виділених доменів дозволить отримання оптимальних результатів щодо комплексності виконуваного аналізу процедур модифікації для вибраного способу компіляції множини накладених обмежень у множині залежностей між введеними абстрактними типами для контрольованих параметрів технологічного процесу.

11. Удосконалено систему обмежень для контролю модифікації запитів оператора у знання-орієнтованій системі над категорією скінченних добутоків, яка, на відміну від інших, розглядається відповідно як індексована категорія над базовою категорією запитів і, таким чином, дозволяє для можливих модифікацій задавати дедукції відповідними премоноїдними структурами, а моноїдні структури представляти правилами вибору шаблонів виклику обчислюваних відповідей у формі шем із заданими обмеженнями.

12. Удосконалено спосіб спрощення цілей модифікації запитів у знання-орієнтованих системах, сутність якого на відміну від існуючих підходів, полягає в тому, що у процесі задоволення цілі отримуються обчислювані обмеження і обчислювані відповіді, що дозволяє отримувати можливі форми представлення відповідних рішень технологічних проблем процесу буріння.

Отримали також подальший розвиток інформаційні моделі, алгоритми, системно-методологічне та програмне забезпечення знання-орієнтованих систем підтримки прийняття рішень при керуванні процесом буріння НГС.

**Практичне значення одержаних результатів** дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблена методологія, формальні методи та алгоритми дають змогу вирішувати задачу інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо вибору та утримання коректного режиму буріння нафтових і газових свердловин, що підтвердило свою ефективність під час їх впровадження у вигляді інформаційної системи “NAFTA” в ЦНДЛ ВАТ “Укрнафта” (акт від 10.11.2005) та методик “Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень на основі обмежень” (СППРО) в НГВУ “Полтаванафтогаз” (акт від 17.07.2012), “Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень для оптимізації процесу буріння” в ПАТ “Укрнафта” (акт від 23.10.2013), “Реалізації процедур підтримки прийняття технологічних рішень у процесі буріння на основі баз знань експертного досвіду” у Прикарпатському управлінні бурових робіт (акт від 17.11.2015).

Особливу практичну цінність мають такі розроблені та апробовані інформаційні моделі, техніки та алгоритми:

1. Інформаційна модель гіперграфової інтерпретації інформаційно-пошукових задач на основі обмежень з введеними правилами.

2. Оптимізаційні техніки на основі обмежень для формальних конструкцій запитів оператора технологічного процесу.

3. Інформаційна модель на основі концептуальної шематичної модифікаційних предикатних запитів, які забезпечує функціонування процесу підтримки прийняття рішень для оператора технологічного процесу при модифікації керованих змінних з урахуванням набору збурюючих параметрів та оцінки параметрів на виході системи, що утворюють відповідний кейс.

5. Алгоритмізовані операції виконання обмеження, перейменування (перевпорядкування) і розширення множин виділених (контрольованих) змінних, що відповідають кожному із накладених обмежень на відповідну сутність знань.

6. Абстраговані алгоритми над множиною кейс-орієнтованих представлень для кожного лінійного уточнення домена модифікації керованих параметрів.

7. Інформаційні моделі та формальний апарат лінійного уточнення доменів керованих змінних.

8. Процедури лінійного уточнення для підвищення точності базового домену модифікації керованих змінних у знання-орієнтованій системі.

9. Алгоритми функціонування процесу підтримки прийняття рішень в знання-орієнтованій системі засобами кейсів на основі обмежень.

Результати досліджень упроваджені в навчальний процес кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем ІФНТУНГ (акт від 06.10.2015) для студентів спеціальності 8.05010201 – комп'ютерні системи та мережі в дисципліні “Комп'ютерні системи штучного інтелекту” та спеціальності 8.05010301 – програмне забезпечення систем у дисципліні “Формальні та програмні засоби побудови новітніх інтелектуальних додатків та застосувань”.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати дисертації отримані автором самостійно і опубліковані в особисто підготовлених працях [1–6, 8–22, 24–31, 36–39, 42, 43, 60–63, 65–67, 70–73, 77]. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачу належить: [7, 23] – ідея структуризації змінних модифікаційних запитів та її реалізація; [32–35] – постановка та рішення задачі аналізу зв'язаності й розділення керованих змінних та отримання категорійної інтерпретації процесу; [40–41] – представлення та реалізація концепцій збірної семантики та категоризованої семантичної стратегії; [44–59, 88–89] – методологія інтерпретації концепції інформаційно-пошукових задач у нафтогазовій предметній області з застосуванням реальних даних та програмних інструментів; [64, 68–69] – формальна структура рішення проблеми обробки невизначеності в задачах інтелектуалізації процедур підтримки прийняття рішень у технологічних процесах; [74–76, 78–99] – постановка задачі, сутність пропонованого формально-логічного рішення, оцінка отриманих результатів.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на II міжнародній науково-практичній Internet-конференції “Динаміка наукових досліджень 2003” (м. Дніпропетровськ, 2003 р.); VI Міжнародній науковій конференції “Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science – TCSET'2004, 2006, 2016” (м. Львів-Славськ, 2004, 2006, 2016 рр.); IV міжнародній науково-практичній конференції “УкрПрог'2004” (м. Київ, 2004 р.); VI міжнародній



науково-практичній конференції “Системний аналіз та інформаційні технології” (м. Київ, 2004 р.); Всеукраїнській науковій конференції “Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики” (м. Львів, 2004 р.); X ювілейній міжнародній науковій конференції “Теория и техника передачи, приема и обработки информации” (м. Харків-Туапсе, 2004 р.); IV міжнародній конференції “Internet-Education-Science. New Informational and Computer Technologies in Education and Science” (м. Вінниця, 2004 р.); 7-й міжнародній науково-практичній Internet-конференції “Наука і освіта 2004” (м. Дніпропетровськ, 2004 р.); міжнародній науково-практичній конференції “Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології” (м. Чернівці 2004 р.); Міжнародній науково-технічній конференції “Искусственный интеллект. интеллектуальные и многопроцесорные системы” (м. Таганрог-Донецьк, 2004 р.); 3 міжнародній науково-практичній конференції “Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів” (м. Хмельницький, 2004 р.); Міжнародній конференції “Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем” (ТАAPSD’2004) (м. Київ, 2004 р.); 1-й міжнародній науково-практичній Internet-конференції “Науковий потенціал світу 2004” (м. Дніпропетровськ, 2004); п’ятій міжнародній науково-технічній конференції “Проблеми інформатики і моделювання” (м. Харків, 2005 р.); IX міжнародній науково-практичній конференції “Системи і засоби передачі та обробки інформації ССПОИ-2005” (м. Черкаси, 2005 р.); VIII міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах КУСС-2005” (м. Вінниця, 2005 р.); I міжнародній конференції молодих науковців “CSE-2006” (м. Львів, 2006 р.); III міжнародній конференції “Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем ТАAPSD’2006” (м. Київ, 2006 р.); IX міжнародній науково-технічній конференції “Системний аналіз та інформаційні технології” (м. Київ, 2007 р.); V міжнародній науково-технічній конференції “Комп’ютерні системи в автоматизації виробничих процесів” (м. Хмельницький, 2007 р.); міжнародному форумі “Радіоелектроніка і молодь в XXI столітті” (м. Харків, 2008 р.); VIII міжнародній конференції “Інтелектуальний аналіз інформації IAI-2008” (м. Київ, 2008 р.); X міжнародній науково-технічній конференції “Системний аналіз та інформаційні технології” (м. Київ, 2008 р.); VI міжнародній науково-практичній конференції з програмування “УкрПрограмування-2008” (м. Київ, 2008 р.); міжнародній конференції по математичному моделюванню “МКММ-2008” (м. Феодосія, 2008 р.); XV міжнародній конференції з автоматичного управління (м. Одеса, 2008 р.); IX міжнародній конференції “Контроль і управління в складних системах КУСС-2008” (м. Вінниця, 2008 р.); III міжнародній конференції молодих вчених “CSE-2009” (м. Львів, 2009 р.); IX міжнародній конференції “Інтелектуальний аналіз інформації IAI-2009” (м. Київ, 2009 р.); XII міжнародній науково-практичній конференції “Математичне та імітаційне моделювання систем” (м. Чернігів-Жукин, 2012 р.); міжнародній науково-технічній конференції “Інтелектуальні системи ШІ-2013” (Кацивелі, АР Крим, 2013 р.); міжнародній науково-практичній конференції “Інформаційні технології та комп’ютерне моделювання” (Івано-Франківськ-Яремче, 2016 р.); XII міжнародній конференції “Perspective technologies and methods in MEMS design (MemsTech’2016)” (м. Львів – Поляна, 2016 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи повно викладені в 99 публікаціях, що включають: 1 монографію, 58 наукових статей у фахових наукових журналах (із них 35 одноосібних), 40 публікацій (із них 12 одноосібних) у збірниках праць міжнародних та всеукраїнських науково-технічних конференцій. Із загального переліку 11 праць включені до міжнародних наукометричних баз Scopus, IEEE Xplore, Web of Science, RSCI–PIHЦ, Index Copernicus та ін.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, шести розділів, списку використаних джерел із 342 найменувань та дев'яти додатків. Повний обсяг дисертації становить 508 сторінок, у тому числі: 300 сторінок основного тексту, 50 рисунків і 7 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета й завдання наукових досліджень, зазначений ступінь наукової новизни одержаних результатів, розкрита їх практична значущість. Описано результати реалізації та апробації дослідження.

У **першому** розділі виконано аналіз процедур прийняття рішень у режимі реального часу на основі бурових параметрів під час процесу буріння, що має на меті контроль осьового зусилля на долото та швидкості обертання долота для отримання максимальної механічної швидкості буріння, а також мінімальної вартості буріння. Даний процес розглядається як специфічний по відношенню до гірської породи (процес контролю параметрів буріння залежить від гірської породи). Класично для виконання прийняття рішень щодо параметрів буріння використовуються статистичні методи. Для виконання даного дослідження було здійснено огляд літературних джерел з проблем прийняття рішень під час процесу буріння. Фактичні польові дані були отримані за допомогою сучасних засобів моніторингу свердловин, а також засобами систем збору даних, що дозволило прогнозувати швидкість буріння як функцію наявних параметрів. Загальне рівняння швидкості буріння може бути задано в кожній новій точці отримання даних. З метою прийняття рішень на основі польових параметрів необхідною є розробка комп'ютерної мережі, яка отримуватиме дані безпосередньо з джерел даних. Таким чином, база даних на сервері буде послідовно розраховувати параметри розробленої моделі на основі відповідної техніки, про що повідомлятиме операторів бурової. Відповідно, оператор буде передавати поточні бурові параметри назад на сервер, і в центрі розробки будуть визначатися параметри нової моделі, а також параметри буріння, шляхом включення новоотриманої інформації. Таким чином, даний процес можна розглядати як процес контролю в режимі реального часу. Встановлено, що прийняття рішень на основі обчислення значень параметрів буріння, базуючись саме на експертному досвіді, представленому в базах знань, у тому числі в режимі реального часу, є перспективною технікою, оскільки вона дозволяє зменшувати вартість процесу буріння, а також мінімізувати ймовірність виникнення нештатних ситуацій саме завдяки використанню контрольованих параметрів.

Виходячи з проведеного аналізу, сформульовано наукову проблему, що підлягає вирішенню, та часткові задачі дослідження.

У **другому** розділі введено гіперграфову інтерпретацію для формально-логічного опису процесу пошуку рішення інформаційно-пошукових задач нафтогазової предметної області на основі обмежень та правил.

Інформаційно-пошукова задача на основі обмежень та правил представляється кортежем  $(X, D, Constr_{set}, Rules_{set})$ , де  $X = \{x_i\}, i = \overline{1, n}$  – множина змінних;  $D_i$  – множина доменів їх значень,  $D = \{D_i\}, i = \overline{1, n}$ ;  $Constr_{set}$  – множина обмежень, які обмежують значення, що можуть приймати змінні;  $Constr_{set} = \{Constr_i\}, i = \overline{1, n}$ ,  $Rules_{set} = \{Rules_i = RC_i \rightarrow SC_i\}$  – послідовність правил.

Впорядкований набір  $HG = (V_{set}, HA_{set}, f_{src}^1, f_{trg}^2, f_{ext.src}^3, f_{ext.trg}^4, Constr_{set}, Rules_{set})$  розглядається як інформаційний гіперграф з обмеженнями та правилами, якщо  $V_{set}$  – скінченна множина вершин,  $HA_{set}$  – скінченна множина гіперребер,  $f_{src}^1$  – функція присвоєння послідовності вихідних вузлів до кожного гіперребра,  $f_{trg}^2$  – функція присвоєння послідовності кінцевих вузлів до кожного гіперребра,  $f_{ext.src}^3$  – функція ініціалізації зовнішніх вихідних вузлів,  $f_{ext.trg}^4$  – функція ініціалізації зовнішніх кінцевих вузлів,  $Constr_{set}$  – множина обмежень,  $Rules_{set}$  – множина правил.

Множина написів  $Rules_{[Constr_{set}]} = \{r_{[c_1]}^1, r_{[c_2]}^2, r_{[c_3]}^3, \dots\}$  на ребрах гіперграфа представляється правилами з введеними обмеженнями з множини вихідних обмежень для інформаційно-пошукової задачі (CSP). Впорядкований набір  $HGC = (V_{set}, HA_{set}, f_{src}^1, f_{trg}^2, f_{ext.src}^3, f_{ext.trg}^4, Constr_{set}, Rules_{set}, Shema)$  вважається  $(Rules_{[Constr_{set}]})$  – описаним гіперграфом з обмеженнями та правилами, якщо  $HGC = (V_{set}, HA_{set}, f_{src}^1, f_{trg}^2, f_{ext.src}^3, f_{ext.trg}^4, Constr_{set}, Rules_{set})$  є гіперграфом із заданою функцією ініціалізації міток із множини  $Rules_{[Constr_{set}]}$  і введеною інформаційною предикатною схемою з обмеженнями та правилами (рис. 1):

$$PS_{Constr}^{Rule} = \left( V^{(PS)}, HA^{(PS)}, f_{src}^{1(PS)}, f_{trg}^{2(PS)}, f_{ext.src}^{3(PS)}, f_{ext.trg}^{4(PS)}, Rules_{set}^{(PS)}, Constr_{set}^{(PS)}, Shema^{(PS)} \right),$$

де кожному елементу відповідає деякий предикат виду  $Shema: V^{(PS)} \cup HA^{(PS)} \rightarrow \Pi$ :

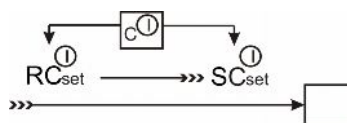


Рисунок 1 – Інформаційна предикатна схема з обмеженнями та правилом

Співпадання (функція співпадання) інформаційної предикатної схеми  $PS_{Constr}^{Rule}$  з обмеженням та правилом з об'єктом  $\Omega$  визначається ізоморфним вбудовуванням предикатної схеми  $PS_{Constr}^{Rule}$  в  $\Omega$ , тобто, ін'єктивним морфізмом  $\sigma: PS_{Constr}^{Rule} \rightarrow \Omega$ , таким, що для всіх  $x \in V^{(PS_{Constr}^{Rule})} \cup HA^{(PS_{Constr}^{Rule})} \rightarrow \Pi$  предикат  $Shema^{(PS_{Constr}^{Rule})}$  є істинним для  $Shema^{[\Omega]}(\sigma(x))$ . Для бази кейсів  $\Omega$ ,  $PS_{Constr}^{Rule}$  представляє інформаційну предикатну схему з обмеженням та правилом і  $\Omega_1 \subseteq \Omega$  є співпаданням для  $PS_{Constr}^{Rule^1}$  (рис. 2). Тоді кожен надоб'єкт  $\Omega_2$  для  $\Omega_1 \subseteq \Omega_2 \subseteq \Omega$  є також співпаданням  $PS_{Constr}^{Rule^1}$ . Нехай  $\Phi^{(PS_{Constr}^{Rule})}(\Omega)$  позначає множину всіх співпадань  $PS_{Constr}^{Rule}$  в  $\Omega$ . Мінімальний елемент у цій частково впорядкованій множині розглядається як мінімальне співпадання або мінімальний екземпляр  $PS_{Constr}^{Rule}$  в  $\Omega[PS_{Constr}^{Rule}]^{\min}$ .

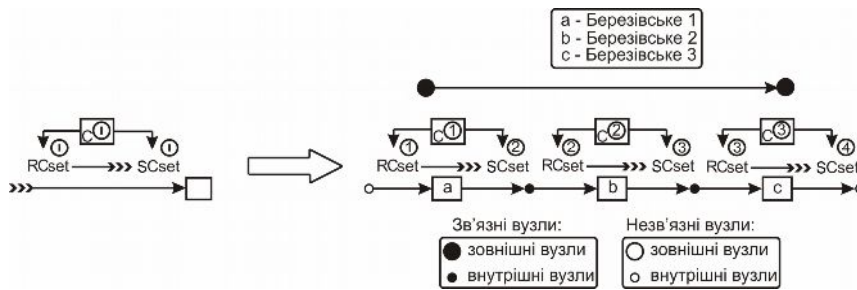


Рисунок 2 – Інформаційна предикатна схема з обмеженнями та співпаданнями

База знань кейсів інтелектуальної системи розглядається в контексті змін, що є наслідком модифікаційних предикатних запитів, які формуються на основі включень множини параметрів і описують типовий ТП у нафтогазовій справі: керовані параметри ( $tcp$ -параметри), некеровані параметри ( $ucp$ -параметри), а також так звані збудуючі параметри ( $dcp$ -параметри). У своїй сукупності дані параметри визначають значення вихідних параметрів ( $ocp$ -параметри):

$$\begin{aligned} & \left[ \dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j1}}(tcp_{i1}^{Cset_{i1}}) \dots \right]_{i1}, \left[ \dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j2}}(ucp_{i2}^{Cset_{i2}}) \dots \right]_{i2}, \left[ \dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j3}} K_{B_{\pm}}(dcp_{i3}^{Cset_{i3}}) \dots \right]_{i3} \rightarrow \\ & \rightarrow \left[ \dots K_{B_{\pm}}^{CS_{j4}}(ocp_{i4}^{Cset_{i4}}) \dots \right]_{i4}, \end{aligned} \quad (1)$$

де  $i1, \dots, i4; j1, \dots, j4 \in N$ ;  $Cset_i$  – множини обмежень, що накладаються на відповідні параметри;  $K_{B_{\pm}}()$  – модифікатори, що визначають операцію додавання/вилучення з бази знань  $KB$  відповідного входження в формі ініціалізованого або неініціалізованого значення параметра;  $CS_j$  – системи обмежень, що визначають вплив кожного з параметрів на результат, а також можливу взаємозалежність та взаємний вплив параметрів один на одного (рис. 3).



Рисунок 3 – Структурна схема системи з базою знань кейсів на основі обмежень

Нехай  $Q_m$  – модифікаційний предикатний запит і  $K_B^{CH}$  – база знань. Введення семантики задає специфікацію для множин баз знань, кожна з яких може бути вибрана як модифікація вихідної бази знань  $K_B^{noch}$  після виконання модифікаційного предикатного запиту  $Q_m$ . Таку множину  $\left\{ [K_{B_1}^{CH_1}]^m, \dots, [K_{B_n}^{CH_n}]^m \right\}$  розглядають, як множину  $Q_m$  – модифікацій вихідної бази знань  $K_B^{noch}$ . Кожна з  $Q_m$  – модифікацій буде, у свою чергу, мати теж власну ієрархію обмежень. Розгляд процесу виконання модифікаційних запитів починається з операції вилучення або додавання правил, утворених із параметрів, до бази знань:

$$K_B^{noch} \cup \{tcp, ocp\} \Leftrightarrow \{K_{B^+}^{CS+}(tcp, ocp) \ll -\},$$

$$K_B^{noch} \setminus \{tcp, ocp\} \Leftrightarrow \{K_{B^-}^{CS-}(tcp, ocp) \ll -\}.$$

На наступному кроці модифікаційний запит  $Q_m$  задається у вигляді

$$K_{B^+}^{CS+} (tcp| = ocp)_1 \ll -, \dots, K_{B^-}^{CS-} ((tcp| = ocp)_l) \ll -, \dots, \\ \dots, K_{B^-}^{CS-} (ocp_1) \ll -, \dots, K_{B^-}^{CS-} (ocp_m) \ll - \dots l, m \in N$$

для вихідної бази знань  $K_B^{noch}$ . Таким чином, множина всіх модифікаційних літералів, що описують елементи бази знань, статус яких не змінюється у процесі переходу від бази знань  $K_{B_1}^{CH_1}$  до бази знань  $K_{B_2}^{CH_2}$  при виконанні модифікаційного запиту  $Q_M : K_{B_1}^{CH_1} \rightarrow K_{B_2}^{CH_2}$ , є множиною інерції для  $K_{B_1}^{CH_1}$ ,  $K_{B_2}^{CH_2}$  і означається як

$$PS_i(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}) = \{K_{B_+}^{CS^+} (tcp \mid = ocp) : [tcp \mid = ocp] \in K_{B_1}^{CH_1} \cap K_{B_2}^{CH_2}\} \cup \\ \cup \{K_{B_-}^{CS^+} (tcp \mid = ocp) : [tcp \mid = ocp] \in K_{B_1}^{CH_1} \cup K_{B_2}^{CH_2}\}.$$

Якщо для заданого модифікаційного запиту  $Q_M$ ,  $K_{B_2}^{CH_2} \in Q_M$ -модифікацією для  $K_{B_1}^{CH_1}$ , то тоді  $\lambda_{nm}(Q_M^{K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}}) = \lambda_{nm}(Q_M^{K_{B_2}^{CH_2} | K_{B_1}^{CH_1}}) = head(Q_M^{K_{B_2}^{CH_2}})$ . Відповідно, справедливо також, що: 1) БЗ  $K_{B_2}^{CH_2} \in Q_M$ -модифікацією бази знань  $K_{B_1}^{CH_1}$  у системі обмежень  $CS^1 = CH_2 \setminus CH_1$ ; 2)  $\lambda_{nm}(Q_M \cup \{tcp \ll [tcp \in PS] : (K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2})\}) \subset K_{B_2}^{CH_2}$ ; 3)  $\lambda_{nm}(Q_M^{K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}}) \cup PS_1(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}) \subset K_{B_2}^{CH_2}$ .

Якщо база знань  $K_{B_2}^{CH_2} \in Q_M$ -модифікацією для  $K_{B_1}^{CH_1}$ , тоді  $K_{B_2}^{CH_2} \in$  моделлю для  $Q_M$  у системі обмежень  $CS, CS = CH_2 \setminus CH_1$ . Тобто, якщо виконати  $Q_M$ -модифікацію для  $K_{B_1}^{CH_1}$ , то одержана база знань  $K_{B_2}^{CH_2}$  відрізнятиметься від вихідної мінімально у випадку, якщо ієрархії обмежень  $CH_2$  та  $CH_1$  не міститимуть надлишкових входжень. Для заданих  $Q_M$  і  $K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2} \in Q_M$ -модифікацією для  $K_{B_1}^{CH_1}$  у випадку, якщо  $PS \setminus K_{B_2}^{CH_2} \in Q_M^{-1}$ -модифікацією для  $PS \setminus K_{B_1}^{CH_1}$ . Для кожного предиката  $[tcp \mid = ocp] \in PS$ , якщо модифікаційний літерал  $K_{B_+}^{CS^+} (tcp \mid = ocp)$  (відповідно, модифікаційний літерал  $K_{B_-}^{CS^+} (tcp \mid = ocp)$ ) є необґрунтованим, то тоді модифікаційний літерал  $K_{B_-}^{CS^+} (tcp \mid = ocp)$  (відповідно модифікаційний літерал  $K_{B_+}^{CS^+} (tcp \mid = ocp)$ ) є обґрунтованим.

У **третьому** розділі виконано формалізацію концепції невизначеності для введених модифікаційних предикатних запитів на основі коефіцієнтів впевненості.

Для заданого модифікаційного предикатного запиту  $Q_M$  у системі обмежень  $CS$ ,  $K_B^{Q_M} \in Q_M$ -модифікацією для  $\emptyset$  тоді, коли  $K_B^{Q_M} \in$  множиною відповідей для  $D^V(Q_M) : K_B^{Q_M} = Sol.AnswerSet(D^V(Q_M, CS))$ . Якщо  $Q_M$  – модифікаційний предикатний запит у системі обмежень  $CS$ , а  $K_B^{CH^-}$  вихідна БЗ, то тоді БЗ  $K_{B_1}^{CH_1} \in Q_M$ -модифікацією для  $K_B^{CH}$ , коли  $dist(K_B^{CH}, K_{B_1}^{CH_1}) \in$  множиною відповідей для модифікаційного запиту. Коли  $Q'_M$  складається з усіх правил  $Q_M$ , що є обмеженнями по відношенню до  $K_B^{CH}$ , тоді  $Q''_M = Q_M / Q'_M$ . База знань  $K_B^{Q_M}$  буде  $Q_M$ -модифікацією для  $K_B^{CH}$  тоді, коли  $K_B^{Q_M} \in Q''_M$ -модифікацією для  $K_B^{CH}$ , що задовольняє всі модифікаційні правила з  $Q'_M$ . Для вихідних баз знань  $K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}$  і модифікаційного предикатного запиту  $Q_M$  матимемо, що  $\Lambda = dist(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2})$  і  $K_{B_1}^{Q_M} \in Q_M$ -модифікацією для  $K_{B_1}^{CH_1}$  тоді, коли  $R_\Lambda(K_{B_1}^{Q_M}) \in R_\Lambda(Q_M)$ -модифікацією для  $K_{B_2}^{CH_2}$ . Для

диз'юнктивного модифікаційного предикатного запиту  $Q_M$ ,  $K_{B_1}^{Q_M} \in Q_M$ -модифікацією для  $\emptyset$  тоді, коли  $K_{B_1}^{Q_M}$  є відповідною множиною відповідей:  $K_{B_1}^{Q_M} = \mathbf{Sol.AnswerSet}(D^V(Q_M, CS))$ . Для двох баз знань  $K_B^{CH}$  і  $K_B^{Q_M}$  визначимо, що  $\Delta$  представляється формулою, модифікаційним правилом або запитом. Тоді залишок  $\Delta$  відносно  $K_B^{CH}$ ,  $K_B^{Q_M} - \Delta^{K_B^{CH}, K_B^{Q_M}}$  представлятиметься як множина, що отримується з  $\Delta^{K_B^{Q_M}}$  через заміну кожного входження модифікаційних літералів з  $\Delta_R^{in}(K_B^{CH}, K_B^{Q_M})$  на true, а локальних модифікаційних літералів з  $(\Delta_R^{in}(K_B^{CH}, K_B^{Q_M}))^{PS}$  на false.

Якщо  $Q_M$  – модифікаційний предикатний запит, то тоді  $K_B^{Q_M} \in Q_M$ -модифікацією для бази знань  $K_B^{CH}$ , якщо множина необхідних модифікацій  $\Lambda_{nm}(Q_M^{K_B^{CH}, K_B^{Q_M}}, CS)$  є когерентною і  $K_B^{Q_M} = K_B^{CH} \circ \Lambda_{nm}(Q_M^{K_B^{CH}, K_B^{Q_M}}, CS)$ . Відповідно у випадку, коли  $Q_M$  – диз'юнктивний модифікаційний предикатний запит, тоді  $K_B^{Q_M} \in Q_M$ -модифікацією для  $K_B^{CH}$  тоді, коли  $K_B^{Q_M} \in Q_M$ -модифікацією для  $K_B^{CH}$ , якщо  $Q_M$  розглядати як модифікаційний предикатний запит у системі обмежень  $CS$ . Для заданих двох баз знань  $K_{B_1}^{CH_1}$ ,  $K_{B_2}^{CH_2}$  і модифікаційного предикатного запиту  $Q_M$  база знань  $K_{B_1}^{Q_M}$  буде  $Q_M$ -модифікацією для  $K_{B_1}^{CH_1}$  тоді, коли  $R_{dist}(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2})(K_{B_1}^{Q_M}) \in R_{dist}(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2})(Q_M)$ -модифікацією для  $K_{B_2}^{CH_2}$ . Відповідно, для модифікаційного запиту  $Q_M$ ,  $K_B^{Q_M}$  буде  $Q_M$ -модифікацією для  $\emptyset$  тоді, коли  $K_B^{Q_M} \in$  множиною рішень для  $\Gamma(Q_M): \mathbf{Sol}[\Gamma(Q_M)]$ . Модифікаційний атом з міткою представляється виразом виду  $(K_{B_+}^{CS+}(tcp \models ocp):C_F)$  або  $(K_{B_-}^{CS+}(tcp \models ocp):C_F)$ , де  $[tcp \models ocp] \in PS$ ,  $C_F \in M$ . Модифікаційне правило з мітками, відповідно, представляється виразом виду  $S_M \ll -[CS, R_M^1, \dots, R_M^1]$ , де  $S_M, R_M^1, \dots, R_M^1$  – модифікаційні атоми з мітками. Модифікаційний предикатний запит із мітками, представляється кінцевою множиною модифікаційних правил із мітками. Для маркера включення  $in^+$  вводиться оціночна функція  $\Theta$ , яка буде описувати наявну інформацію про належність елементів  $PS$  деякій множині  $T$ ,  $PS \subseteq T$ . Тоді  $\Theta(K_{B_+}^{CS+}(tcp \models ocp)) = C_F$  інтерпретується як факт того, що  $[tcp \models ocp] \in T$  з впевненістю  $C_F$ . Оціночна функція  $\Theta$  задовольняє модифікаційний атом  $(K_{B_+}^{CS+}(tcp \models ocp):C_F)$ , якщо  $\Theta(K_{B_+}^{CS+}(tcp \models ocp)) \geq C_F$ . Для даного модифікаційного предикатного запиту з мітками вводиться оператор  $\Lambda_{Q_M}$  на множині значень оціночної функції  $\Theta$ .

Для множини заголовків усіх правил  $\Lambda_{Q_M}(\Theta)$  в  $Q_M$ , тіла яких задовольняються оціночною функцією  $\Theta$ , оператор  $\Lambda_{Q_M}$  вводиться як

$\Lambda_{Q_M}(\Theta) = \bigcup_i \{C_F \mid (m_i : C_F) \in \Lambda_{Q_M}(\Theta), i \geq 0\}$ , де  $m_i$  – модифікаційне правило.

Якщо  $Q_M$  – модифікаційний предикатний запит із мітками, то тоді  $i = \Theta(M^2)$ ,  $i' = \Theta(M^2)$ , причому  $i \leq_{true} -i'$ , відповідно,  $\Lambda_{Q_M}^i(i) \leq_{true} \Lambda_{Q_M}^i(i')$ . В той же час, коли  $Q_m^L$  – модифікаційний предикатний  $L$ -запит, то  $i = \Theta(M^2)$  буде моделлю для  $Q_m^L$  тоді, якщо  $i \leq \Lambda_{Q_m^L}^i(i)$ . Введені означення для  $R$ -моделей інтерпретуються як спосіб побудови моделі з найменшою кількістю непослідовної, суперечливої інформації в рамках накладених обмежень.

Відповідно, для деяких двох модифікаційних предикатних  $L$ -запитів  $Q_{m_1}^L, Q_{m_2}^L$   $i \in R$ -моделлю для  $Q_{m_1}^L$  і  $R$ -моделлю для  $Q_{m_2}^L$ . Тоді  $i \in R$ -моделлю також і для  $Q_{m_1}^L \cup Q_{m_2}^L$ , а  $K_B^{Q_m^L}$  є модифікацією для  $K_B^{noch}$ , якщо  $K_B^{Q_m^L} = (K_B^{noch} \bullet - j) \circ j$ , де  $j = \Lambda_{nm} \left( (Q_m^L)^{K_B^{noch} \mid K_B^{Q_m^L}}, CS \right)$  є множиною необхідних модифікацій для  $\left( (Q_m^L)^{K_B^{noch} \mid K_B^{Q_m^L}} \right)$ .

Для заданого звичайного модифікаційного предикатного запиту  $Q_m^L$ , де  $K_B^{noch}, K_B^{Q_m^L}$  – дві множини атомарних предикатів, матимемо, що  $K_B^{Q_m^L}$  буде  $Q_m^L$ -модифікацією

для  $K_B^{noch}$ , якщо множина необхідних модифікацій для  $(Q_m^R)$   $\left( (K_B^{Q_m^L})^\beta \mid (K_B^{noch})^\beta \right)$  є послідовною і

$(K_B^{Q_m^L})^\beta \in (Q_m^R)$ -модифікацією для  $(K_B^{Q_m^L})^\beta$ . Якщо задано  $i = \Theta(M^2)$ , то тоді

$\Lambda_{nm} \left( (Q_m^L, CS) \right)^{ii} \Lambda_{Q_m^L}^i(i)$ . У випадку коли  $Q_m^L$  – модифікаційний предикатний  $L$ -запит

і  $K_B^{noch} = \Theta_1(M^2)$ , то також і  $K_B^{Q_m^L} = \Theta_2(M^2)$ . Якщо  $K_B^{Q_m^L}$  є модифікацією для  $K_B^{noch}$ ,

тоді  $K_B^{Q_m^L} \in R$ -моделлю для  $Q_m^L$ , а також і звичайною моделлю для  $Q_m^L$ . Задавши

$K_B^{noch} = \Theta(M^2)$  як модель модифікаційного предикатного  $L$ -запиту,  $K_B^{noch}$  буде,

відповідно,  $Q_m^L$ -модифікацією самої себе тоді, якщо  $K_B^{noch} \in R$ -моделлю для  $Q_m^L$ , а

значить  $K_B^{noch}$  є моделлю для модифікаційного предикатного  $L$ -запиту  $Q_m^L$  і  $K_B^{Q_m^L} \in$

$Q_m^L$ -модифікацією для  $K_B^{noch}$ . У підсумку матимемо, що  $K_B^{Q_m^L} \leq K_B^{noch}$ . Для  $K_B^{noch}$  як

послідовної моделі модифікаційного предикатного  $L$ -запиту  $Q_m^L$   $K_B^{noch}$  є також

єдиною  $Q_m^L$ -модифікацією самої себе. У випадку, коли  $Q_m^L$  і  $(Q_m^L)'$  – модифікаційні

предикатні  $L$ -запити,  $K_B^{Q_m^L} \in Q_m^L$ -модифікацією для  $K_B^{noch}$ ,  $K_B^{Q_m^L} \in R$ -моделлю для

$(Q_m^L)'$ , то тоді  $K_B^{Q_m^L} \in Q_m^L \cup (Q_m^L)'$ -модифікацією для  $K_B^{noch}$ . Якщо  $K_{B_1}^{CH_1}$  є послідовною

$Q_m^L$ -модифікацією для послідовної бази знань  $K_{B_2}^{CH_2}$ , то тоді різниця  $\rho(K_{B_1}^{CH_1}, K_{B_2}^{CH_2}) \in$



мінімальною в  $\rho(K_B^{noch}, K_{B_2}^{CH_2}):K_B^{noch}$ .

У четвертому розділі виконано побудову та дослідження домена керованих змінних технологічного процесу буріння свердловин згідно з накладеними системами обмежень. Система обмежень, накладених на множину керованих змінних технологічного процесу  $\bar{V} \subseteq V$ , розглядається як набір множин виду  $CS = \{CS_{\bar{V}}\} \bar{V} \in r_f(V)$  разом із введеними операціями  $\forall CS_{\bar{V}}:CS_{\bar{V}} \times CS_{\bar{V}} \rightarrow CS_{\bar{V}}$  і  $\exists CS_{\bar{V}}:V \times CS_{\bar{V}} \rightarrow CS_{\bar{V}}$ . Для системи обмежень  $CS = \{CS_{\bar{V}}\} \bar{V} \in r_f(V)$  вводиться скінченний набір предикатних символів із заданою розмірністю (арністю)  $PS$ , де  $ps$ -множина попарно різних змінних  $\{p_1, \dots, p_n\}$ , а  $n$  – максимальна розмірність предикатів у  $PS$ . Вводиться множина цілей модифікації  $[QM]^{CS_{\bar{V}}}$  заданих як  $Q_m^{set}:QM^{CS_{\bar{V}}} ::= CS \mid QM^{CS_{\bar{V}}}$ , де  $QM^{CS_{\bar{V}}} \mid QM^{CS_{\bar{V}}}$  або  $[QM]^{CS_{\bar{V}}} \mid ps(tcp_1, \dots, tcp_n)$ , і  $CS \in CS_{\bar{V}}$ ,  $ps^n \in PS^{set}$ ,  $n \geq 0$  і  $\{tcp_1, \dots, tcp_n\} \subseteq \bar{V}$  попарно різні змінні (керовані параметри). Розглядається процедура інтерпретації над  $CS_{\bar{V}}$  як вид процесу задоволення обмежень, що описується деякою функцією  $Sat:PS \rightarrow r(CS_{\bar{V}})$ . Множина всіх можливих інтерпретацій над  $CS_{\bar{V}}$  означається через  $Sat^{CS_{\bar{V}}}$ . Відповідно,  $Sat^{CS_{\bar{V}}}$  є повною структурою по відношенню до операції  $\leq$ , яка означатиметься як  $Sat_1 \leq Sat_2$  у випадку, коли  $Sat_1(ps) \leq Sat_2(ps)$  для кожного  $ps \in PS^{set}$ . Для заданого запиту  $Q_m \in QM^{CS_{\bar{V}}}$  вводиться оператор  $R_n:Sat^{CS_{\bar{V}}} \rightarrow Sat^{CS_{\bar{V}}}$  для виділених наборів керованих змінних:

$$R_n(Sat)(ps^n) = \left[ \begin{array}{l} \exists_{\{v_1, \dots, v_n\}}^{CS_{\bar{V}}} \left( \left\{ \theta_{\langle tcp_1, \dots, tcp_n \rangle, \langle v_1, \dots, v_n \rangle}^{CS_{\bar{V}}} \right\} \circ^{CS_{\bar{V}}} Op_1^{CS_{\bar{V}}} [QM]_{Sat} \right) \\ \mid = ps(tcp_1, \dots, tcp_n) \ll QM \in QM^{set} \end{array} \right.$$

Для заданого запиту  $Q_m \in [QM]^{CS_{\bar{V}}}$   $R_n$  є неперервним відображенням. Для деякого нового запиту  $Q_m \in [QM^{set}]^{CS_{\bar{V}}}$  означається семантика обчислювальних результатів для запитів  $AnswerSet[QM^{set}]$ , як  $Sol_{QM^{set}} = \bigcup_{i \geq 0} R_{QM^{set}} \uparrow i(\perp)$ . Інтерпретація виклику шеми над  $CS_{\bar{V}}$  є функцією  $Sat:PS \rightarrow r(CS_{\bar{V}} \cup (CS_{\bar{V}} \times PS))$ . Множина всіх інтерпретацій викликів над  $CS_{\bar{V}}$  означається через  $Sat_{sh}^{CS_{\bar{V}}}$ . Множина  $Sat_{sh}^{CS_{\bar{V}}}$  є повною структурою стосовно операції  $\leq$ , причому  $Sat_1 \leq Sat_2$  тоді коли  $Sat_1(ps) \leq Sat_2(ps)$  для кожного  $ps \in PS$ . Для заданого запиту  $Q_m \in [QM^{set}]^{CS_{\bar{V}}}$  оголошується відповідний оператор виклику по шаблону  $R_{Q_m}^{Sh}: [Sat^{set}]_{Sh}^{CS_{\bar{V}}} \rightarrow [Sat^{set}]_{Sh}^{CS_{\bar{V}}}$  таким чином, що

$$R_{Q_m}^{Sh}(Sat^{set})(PS^n) = \begin{cases} = \{ \exists_{Sh}^{CS_{\bar{V}}} \setminus (\bar{V} \cup [\bar{V}_1, \dots, \bar{V}_n]) \} \left( \theta_{\langle \bar{V}_1, \dots, \bar{V}_n \rangle, \langle C_1, \dots, C_n \rangle}^{CS_{\bar{V}}} \right) \Theta_{Sh}^{CS_{\bar{V}}} Op_2^{CS_{\bar{V}}} [QM] Sat^{set}, \\ = ps \left( \overbrace{C_1, \dots, C_n}^{CS_{\bar{V}}} \right) \leftarrow Q_m \in [QM^{set}] \end{cases}$$

для всіх предикатних символів  $ps^n \in PS^{set}$ . Для заданого запиту  $Q_m \in [QM^{set}]^{CS_{\bar{V}}}$  оператор  $R_{Q_m}^{Sh}$  є неперервним відображенням, тому семантику шаблону виклику можна оголосити таким чином:  $Sol_{Q_m}^{Sh} = \bigcup_{i \geq 0} R_n^{Sh} \uparrow i(\perp)$ . Тоді для кожних двох множин змінних  $V_1$  і  $V_2$ , які не містять спільних елементів, задається множина обмежень виду

$$CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma = \left\{ \begin{array}{l} \exists_v c \mid \bar{V} \in r_f(V_2), c \in CH.CS_{V_1 \cup V_2}^\Gamma \exists \sigma_1 \in [\sigma_{V_1} \cup \sigma_{V_2}] \\ rang(\sigma) \leq V_1, c_\sigma = true \end{array} \right\}.$$

У даному випадку  $V_1$  є множиною виділених змінних, а  $V_2$  – множина змінних. Для того, щоб накладену систему обмежень можна було використати для обчислення еластичної семантики, необхідно ввести три операції, які дозволятимуть виконувати *обмеження* (*con*), *перейменування* (*def*) і *розширення* (*add*) множин змінних, що відповідають кожному з накладених обмежень. Еластична система обмежень над множиною змінних  $V_1$  представляється набором множин  $CS = \{CS_{\bar{V}}\}_{\bar{V} \in r_f(V_1)}$  разом із чотирма операціями для заданої  $\bar{V} \in r_f(V_1)$ : 1)  $*^{CS_{\bar{V}}} : CS_{\bar{V}} \times CS_{\bar{V}} \rightarrow CS_{\bar{V}}$ ; 2)  $con_{tcp_1}^{CS_{\bar{V}}} : CS_{\bar{V}} \rightarrow CS_{\bar{V} \setminus tcp_1}$ , де  $tcp_1 \in V$ ; 3)  $add_{tcp}^{CS_{\bar{V}}} : CS_{\bar{V}} \rightarrow CS_{\bar{V} \cup tcp}$ ,  $tcp \in V_1 \setminus V$ ; 4)  $def_{tcp \rightarrow tcp_1}^{CS_{\bar{V}}} : CS_{\bar{V}} \rightarrow CS_{\bar{V}} CS_{(V \setminus tcp) \cup tcp_1}$ , де  $tcp \in V$  і  $tcp_1 \in V_1 \setminus V$ .

Множина еластичних цілей  $[QM]^{CS}$  представляється виразом виду  $CS : [QM]^{CS} := \langle c, \bar{V} \rangle [QM]^{CS}$  і  $[QM]^{CS} [QM]^{CS}$  або  $[QM]^{CS} \mid ps(tcp_1, \dots, tcp_n)$ , де  $c \in CS_{\bar{V}}$ ,  $ps^n \in PS$ ,  $n \geq 0$  і  $\{tcp_1, \dots, tcp_n\} \subseteq V_1$  попарно відмінні змінні, що не належать  $ps$ . Еластична інтерпретація над  $CS$ , відповідно, розглядається як відображення  $Sat_{el} : PS \rightarrow \text{lub}_{\bar{V} \in r(ps)} r(CS_{\bar{V}})$  таке, що  $Sat_{el}(ps^n) \in r(CS_{\{v_1, \dots, v_n\}})$  для кожного  $ps^n \in ps$ . Множина еластичних інтерпретацій над  $CS$  вводиться як  $Sat_{el}$ . Для заданих  $QM \in [QM^{set}]^{CS}$  і  $Sat_{el} \in Sat_{el}^{CS}$  матимемо, що  $Op_1^{CS} [QM] Sat_{el} = \langle Sol, \bar{V} \rangle$ , де

$Sol \in r(CS_{\bar{V}})$ . У результаті для заданого запиту  $Q_m \in [QM^{set}]^{CS}$  еластичний оператор безпосереднього слідування  $R_Q^{el}: Sat_{el}^{CS} \rightarrow Sat_{el}^{CS}$  означається:

$$R_Q^{el}(Sat_{el})(ps^n) = \begin{cases} def_{\langle tcp_1, \dots, tcp_n \rangle \rightarrow \langle v_1, \dots, v_n \rangle}^{\{tcp_1, \dots, tcp_n\}} add_{\{tcp_1, \dots, tcp_n\} \setminus \bar{V}}^{CS_{\bar{V} \cap \{tcp_1, \dots, tcp_n\}}} con_{\bar{V} \setminus \{tcp_1, \dots, tcp_n\}}(Sol) \\ iff ps \{tcp_1, \dots, tcp_n\} \ll QM \in [QM^{set}] : Op_1^{CS} [QM] Sat_{el} \langle Sol, \bar{V} \rangle \end{cases}$$

для кожного предикатного символу  $ps^n \in PS$ . Для заданого запиту  $Q_m \in [QM]^{CS}$  його еластичні семантики оголошуються як  $S_{Q_m}^{el} = \bigcup_{i \geq 0} R_{Q_m}^{el} \uparrow i(\perp)$ . Еластичною системою обмежень для шаблонів виклику вважається еластична система обмежень, задана з відмінними елементами  $\theta_{tcp, ocp}^{CS_{\bar{V}}}$  для  $\forall \bar{V} \in r_f(V_1)$  і  $\widetilde{tcp}, \widetilde{ocp} \in \bar{V}$ . Еластична інтерпретація для шаблонів виклику над  $CS$  представляється відображенням  $Sat: PS \rightarrow \text{lub}_{\bar{V} \in r_f(V_1)} r(CS_{\bar{V} \setminus V^{glb}} \cup (CS_{\bar{V}} \times PS))$ , таким, що  $Sat(ps^n) \in r(CS_{\{v_1, \dots, v_n\}} \cup (CS_{V^{glb} \cup \{v_1, \dots, v_n\}} \times PS))$  для кожного  $ps^n \in PS$ . Множину еластичних інтерпретацій для шаблонів виклику над  $CS$  означають через  $Sat_{Sh}^{CS}$ . Для заданих  $QM \in [QM^{set}]^{CS}$  та  $Sat \in Sat_{Sh}^{CS}$ , таким чином, матимемо, що  $Op_2^{CS} [QM] Sat = \langle Sol, \bar{V} \rangle$ , де  $Sol \in r(CS_{\bar{V} \setminus V^{glb}} \cup (CS_{\bar{V}} \times PS))$ . Для заданого запиту  $Q_m \in [QM]^{CS}$  означається еластичний оператор безпосереднього слідування для шаблонів виклику  $R_{Q_m}^{Sh, el}: Sat_{Sh}^{CS} \rightarrow Sat_{Sh}^{CS}$  таким чином:

$$R_{Q_m}^{Sh, el}(Sat)(ps^n) = \begin{cases} def_{\langle tcp_1, \dots, tcp_n \rangle \cup V^{glb} \rightarrow \langle v_1, \dots, v_n \rangle}^{CS_{\{tcp_1, \dots, tcp_n\} \cup V^{glb}}} add_{(tcp_1, \dots, tcp_n) \cup [V^{glb} \setminus \bar{V}]}^{CS_{\bar{V} \cap \{tcp_1, \dots, tcp_n\} \cup V^{glb}}}; \\ con_{\bar{V} \setminus (\{tcp_1, \dots, tcp_n\} \cup V^{glb})}^{CS_{\bar{V}}} (Sol); \\ = ps(tcp_1, \dots, tcp_n) \ll QM \in QM^{set} \text{ and } Op_2^{CS} [QM] Sat = \langle Sol, \bar{V} \rangle \end{cases}$$

для кожного предикатного символу  $ps^n \in PS$ . Для заданого запиту  $Q_m \in [QM]^{CS}$ ,  $R_{Q_m}^{Sh, el}$  є неперервним відображенням, що дозволяє оголошення еластичної семантики для шаблонів виклику таким чином:  $Sol_Q^{Sh, el} = \bigcup_{n \geq 0} R_{[QM]}^{Sh, el} \uparrow R_{[QM]}^{Sh, el} n(\perp)$ . Для заданих  $\bar{V} \in r_f^1(V_1)$ ,  $tcp \in \bar{V}$   $\exists_v c \in CH.CS_V^\Gamma$  можна, відповідно, отримати, що  $\exists_{tcp}^{CH.CS_V^\Gamma} (\exists_v c) = con_v^{CH.CS_V^\Gamma} \left( add_{tcp}^{[CH.CS_V^\Gamma]_{(\bar{V} \cup k) \setminus tcp}} \left( def_{tcp \rightarrow v}^{CH.CS_V^\Gamma} (c) \right) \right)$ , де  $v \in V_1 \setminus V$ . Якщо

$V \in r_f(V_1)$  є таким, що  $ps < V$ , тоді  $Q_m \in [QM^{set}]^{CH.CS_V^\Gamma}$  та  $Sat \in Sat^{CH.CS^\Gamma}$ , відповідно,  $Op_1^{CH.CS^\Gamma} [QM] Sat = \langle Op_1^{CH.CS_V^\Gamma} [QM] Sat, V' \rangle$ , де  $V' \leq V$ . У випадку коли  $V \in r_f(V_1)$  є таким, що  $ps \leq V$ , то тоді  $Q_m \in Q_m^{CH.CS_V^\Gamma}$  та  $Sat \in Sat^{\Gamma^{set}}$ . У результаті матимемо, що  $PS_Q(i) = R_{Q_m}^{el}(Sat)$ .

Для заданих  $V \in r_f(V_1)$ , для яких  $ps \leq \bar{V}$  і  $Q_m \in Q_m^{CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma}$ , спочатку встановлюється, що  $Sol_{Q_m} = R_{Q_m}^{el}$ . Подібні міркування застосовуються і до шаблонів виклику, а саме для  $\bar{V} \in r_f(V_1)$ , яка є такою, що  $ps \cup V^{glb} < \bar{V}$ , і для модифікаційного запиту  $Q_m \in [QM^{set}]^{CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma}$  матимемо, що  $Sat \in Sat^{CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma}$ . Тоді  $Op_1^{CH.CS^\Gamma} [QM] Sat = \langle Op_1^{CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma} [QM] Sat, V' \rangle$ , де  $\bar{V} \leq V$ . Для випадку, коли  $\bar{V} \in r_f(V_1)$  є таким, що  $ps \cup V^{glb} \leq \bar{V}$  і, відповідно,  $Q_m \in Q_m^{CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma}$  та  $Sat \in [Sat^{CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma}] Sh$ , тоді матиме місце, що  $R_{Q_m}^{Sh}(Sat) = R_{Q_m}^{Sh,el}(Sat)$ . Подібним чином, для  $\bar{V} \in r_f(V_1)$  такої, що  $ps \cup V^{glb} \leq \bar{V}$  і відповідного  $Q_m \in [QM]^{CH.CS_{\bar{V}}^\Gamma}$ , в підсумку матимемо, що  $Sol_{Q_m}^{Sh} = Sol_{Q_m}^{Sh,el}$ .

Збірною семантикою над системою обмежень  $CS = \{CS_{\bar{V}}\} \in r_f(V_1)$  є семантика над булеаном  $r(CS) \{r(CS_{\bar{V}})\}_{\bar{V} \in r_f(V_1)}$ , абстрактні операції якої є розширеннями відповідних операцій над  $CS$ . Для заданих  $V \in r_f(V_2)$ ,  $\{V_1, \dots, V_n\} \subseteq V'$  і

$\{tcp_1, \dots, tcp_n\} \subseteq V'$  і  $CH.CS_{V' \setminus \langle tcp_1, \dots, tcp_n \rangle}^\Gamma$  матимемо, що

$$\nabla_{\{v_1, \dots, v_n\}}^{CH.CS_{V'}^\Gamma} \left( \theta_{\langle tcp_1, \dots, tcp_n \rangle, \langle v_1, \dots, v_n \rangle}^{CH.CS_{V'}^\Gamma} *_{CH.CS_{V'}^\Gamma} g \right) = def_{\langle v_1, \dots, v_n \rangle \rightarrow \langle tcp_1, \dots, tcp_n \rangle}^{CH.CS_{V' \setminus \langle tcp_1, \dots, tcp_n \rangle}^\Gamma} g.$$

Тоді система обмежень  $CS$  буде структурною.

У п'ятому розділі виконано побудову абстрагованих алгоритмів лінійного уточнення домена керованих змінних процесу буріння.

Представлення для  $D \leq Set$  утворюється скінченною множиною  $CS_{PR}$  структур даних предметної області разом із відображенням “на”  $\xi : CS_{PR} \rightarrow Set$ . Вважається, що  $c_{pr} \in CS_{PR}$  представляє кожне  $d \in D$  таке, що  $d \leq \xi(c_{pr})$  і має розмірність  $vol(c_{pr})$ . Крім того, означається  $vol(CS_{PR}) = \max \left\{ vol(c_{pr}) \mid c_{pr} \in CS_{PR} \right\}$ .

Для заданої скінченної множини абстрактних властивостей  $D \leq Set$ , які представляються за допомогою  $CS_{PR}$ , означаються представлення  $\Omega(CS_{PR}) = r_f(CS_{PR})$ . Множина  $\Omega(CS_{PR})$  буде певним видом представлення для  $\Omega(D)$ , де  $\xi(\{c_{pr_1}, \dots, c_{pr_k}\}) = [QM]^{CH.CS_{PR}^\Gamma} \{ \xi(c_{pr_1}), \dots, \xi(c_{pr_k}) \}$  і  $vol(c_{pr}) = \sum_{i \in c_{pr}} vol(i)$ .

Якщо домени  $D_1 \leq Set$  і  $D_2 \leq Set$  представлені за допомогою  $CS_{PR_1}$  і  $CS_{PR_2}$  відповідно, то тоді  $D_1 \cap D_2$  представляється через  $CS_{PR_1} \cap CS_{PR_2} = CS_{PR_1} \times CS_{PR_2}$ , де  $\xi(\langle c_{pr_1}, c_{pr_2} \rangle) = [QM]^{CH.CS_{\bar{V}}^{\Gamma}} \{ \xi(c_{pr_1}), \xi(c_{pr_2}) \}$  і  $vol(\langle c_{pr_1}, c_{pr_2} \rangle) = vol(c_{pr_1}) + vol(c_{pr_2})$  для кожного  $c_{pr_1} \in CS_{PR_1}$  і  $c_{pr_2} \in CS_{PR_2}$ .

У випадку, коли домени  $D_1 \leq Set$  і  $D_2 \leq Set$  представлені за допомогою  $CS_{PR_1}$  і  $CS_{PR_2}$  відповідно, та якщо  $\Theta : Set \times Set \rightarrow Set$ , то означається представлення виду  $\{ c_{pr_1} \rightarrow^{\Theta} c_{pr_2}, c_{pr_1} \leftarrow^{\Theta} c_{pr_2} \mid c_{pr_1} \in CS_{PR_1} : c_{pr_2} \in CS_{PR_2} \}$  для  $\{ tcp \leftarrow^{\Theta} ocp \mid tcp \in D_1, ocp \in D_2 \}$ , елементи якого можна розглядати, як пари з заданим напрямком.

Властивості, співвіднесені до змінних, представляються парами виду  $VZ = \langle \{VZ_{\bar{V}}\} \bar{V} \in r_f(V), \overline{QM} \rangle$ , де  $\overline{QM} : r_f(V) \rightarrow r_f(r_f(V))$  є монотонною для довільного  $\bar{V} \in r_f(V), \overline{QM}(\bar{V}) \in r_f(\bar{V})$  і  $VZ_{\bar{V}} \subseteq \Gamma_{\bar{V}} \overline{QM}(\bar{V})$ . Якщо  $VZ = \{ \langle vz_i, t_i \rangle \mid i=1, \dots, k \}$  – скінченна множина властивостей змінних, тоді для довільного  $\bar{V} \in r_f(V), i=1, \dots, k, \bar{v}' \in t_i(\bar{v})$  означаються  $VZ_i^1(\bar{v}'_c) \bar{v} = \{ c \in [CH.CS_{\bar{V}}^{\Gamma}] \mid (VZ_i)_{\bar{V}}(c, \bar{v}') \}$ .

Відповідно, для довільного  $\bar{V} \in r_f(V)$  множина властивостей  $VZ$  утворює підмножину  $r_f(CH.CS_{\bar{V}}^{\Gamma}) : Core(VZ)_{\bar{V}} = \{ VZ_i(\bar{v}'_c)_{\bar{V}} \mid 1 \leq i \leq k \text{ і } \bar{v}' \in t_i(\bar{v}) \}$ . Для заданої властивості змінної  $VZ = \langle \{VZ_{\bar{V}}\} \bar{V} \in r_f(V), t \rangle$ , протилежної властивості  $VZ = \langle \{VZ_{\bar{V}}\} \bar{V} \in r_f(V)', t \rangle$ , такої, що для заданих  $\bar{V} \in r_f(V)$   $c \in \Gamma_{\bar{V}}$  і  $\bar{V}' \in t(\bar{V})$ ,  $\overline{VZ}_{\bar{V}}(c, V')$  має місце тоді, коли  $VZ_{\bar{V}}(c, \bar{V}')$  не справджується. Очевидно, що якщо  $VZ$  є чисто локальною, тоді і  $\overline{VZ}$  є локальною і  $\rho(\overline{VZ}) = \rho(VZ)$ . При заданих

$\{I_1, I_2\} \rightarrow^{\Theta} CS_{PR}$  вводитьься означення

$lub^{CS_{PR} \rightarrow^{\Theta} CS_{PR}}(I_1, I_2) \stackrel{def}{=} \{ rc_1 rc_2 \rightarrow c_{pr} \mid rc_1 \rightarrow c_{pr} \in I_1 : rc_2 \rightarrow c_{pr} \in I_2 \}$ . Відповідно, операція

$lub^{CS_{PR} \rightarrow^{\Theta} CS_{PR}}$  буде коректною і в найгіршому випадку матиме комплексність виду  $QM(i_1 i_2 \cup (Core))$ , де  $i_1$  і  $i_2$  є розмірностями її аргументів. Для заданої множини властивостей змінних  $VZ$  система обмежень представлень для  $VZ$  розглядається як система обмежень виду  $CS_{PR}(VZ) = \{ CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}} \}$

$CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}} = \Omega(CS_{PR}(Core(VZ)))_{\bar{V}} \rightarrow *_{r_f(CH.CS_{\bar{V}}^{\Gamma})} \Omega(CS_{PR}(Core(VZ)))_{\bar{V}}$ .

Якщо  $VZ$  є множиною локальних властивостей змінних заданої ширини і  $tcp \in r_f(CH.CS_{\bar{V}}^{\Gamma})$ , то тоді для заданих  $tcp \in V \setminus \bar{V} : rc_{tcp} \rightarrow *_{r_f(CH.CS_{\bar{V}}^{\Gamma})}$ ,  $c_{pr_{tcp}} \in \Omega(Core(VZ))_{\bar{V}} \rightarrow \Omega(Core(VZ))_{\bar{V}}$  матимемо, що

$rc_{tcp} \rightarrow *^{r_f(CH.CS_V^\Gamma)} c_{pr_{tcp}} \subseteq \left[ rc_{\bar{V} \cup tcp} \rightarrow *^{r_f(CH.CS_{\bar{V} \cup tcp}^\Gamma)} c_{pr_{tcp}} \right]$ . У випадку, якщо  $VZ$  є множиною локальних властивостей змінних у загальному випадку, то тоді  $\bar{V} \in r_f(V)$ ,  $\{\bar{V}_1, \bar{V}_2\} \subseteq \bar{V} : \Delta_{tcp} c \in CH.CS_V^\Gamma$ , причому  $\{\bar{V}_1, \bar{V}_2\} \cap (dom(c) \cup rang(c)) = \emptyset$ . Якщо  $VZ$  є скінченною множиною локальних властивостей змінних, де  $kmax = max \{ \rho(vz) \mid vz \in VZ \}$  є скінченним, то тоді  $\bar{V} \in r_f(V) : tcp \in V \setminus \bar{V}$ . У найпростішому випадку матимемо представлення виду  $\{\bar{v}_1, \dots, \bar{v}_k\} \subseteq \bar{V} : I \in CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$ , що дозволить означити, відповідно,  $add_{tcp}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}(I) = I \subset \left\{ rc \left[ tcp / \bar{v}_i \right] \rightarrow c_{pr} \left[ tcp / \bar{v}_i \right] \Big|_{rc \rightarrow c_{pr} \in I} \right\}_{i=1 \dots k}$ . Якщо  $VZ$  є множиною локальних властивостей змінних таких, що  $kmax = max \{ \rho(vz) \mid vz \in VZ \}$  є скінченним,  $\bar{V} \in r_f(V) : tcp \in V \setminus \bar{V}$ , то тоді  $add_{tcp}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}$  є коректним по відношенню до  $add_{tcp}^{r_f(CH.CS_V^\Gamma)}$ , що застосовуються до множини потенційно екзистенційних обмежень де  $\bar{v}_1, \dots, \bar{v}_k$  не зустрічаються. В кінцевому підсумку  $VZ$  – скінченна множина локальних властивостей змінних,  $\bar{V} \in r_f(V), tcp \in \bar{V} : I \in CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$ , для якої задається також і множина керованих параметрів виду  $TCP^{set} = \left\langle vz(\bar{V}') \left\{ \langle vz, i \rangle, \bar{V}' \in i(\bar{V}) : tcp \in \bar{V}' \right\} \right\rangle$  і в результаті

$$con_{tcp}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}(I) = \left\{ \begin{array}{l} rc \setminus TCP^{set} \rightarrow c_{pr} \setminus TCP^{set} \\ \bar{V}'' \in i(\bar{V}), \text{ iff } vz(\bar{V}'') \in rc : tcp \in \bar{V}'' \\ \text{then } vz_{\bar{V}}(i, \bar{V}'') \end{array} \right. .$$

Якщо  $VZ$  є множиною локальних властивостей змінних,  $\bar{V} \in r_f(V)$ ,  $tcp \in \bar{V}$ , тоді  $con_{tcp}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}$  є коректним. Для заданих  $VZ$ ,  $\bar{V} \in r_f(V)$ ,  $tcp \in \bar{V}$ ,  $v_1 \in V \setminus \bar{V} : I \in CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$  означається  $def_{tcp \rightarrow v_1}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}(I) = I[v_1 / tcp]$ .

Для скінченної множини локальних властивостей змінних  $VZ$ , ширина яких є скінченною,  $\bar{V} \in r_f(V)$ ,  $tcp \in \bar{V}$ ,  $I \in CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$  вводиться узагальнене означення виду

$$\Delta_{tcp}^{def_{tcp \rightarrow v_1}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}}(I) = con_{v_1}^{def_{tcp \rightarrow v_1}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V} \cup v_1}}} \left( add_{tcp}^{def_{tcp \rightarrow v_1}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V} \cup v_1}}} \left( add_{tcp \rightarrow v_1}^{def_{tcp \rightarrow v_1}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}}(I) \right) \right).$$

Якщо  $VZ$  є скінченною множиною локальних властивостей змінних таких, що  $kmax = max \{ \rho(vz) \mid vz \in VZ \}$  є скінченним і  $\bar{V} \in r_f(V) : tcp \in \bar{V}$ , тоді  $\Delta_{tcp}^{CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}}$  є коректним

по відношенню до оператора  $\Delta_{tcp}^{r_f(CH.CS_{\bar{V}}^f)}$ , застосованого до множин екзистенційних обмежень, де  $v_1, \dots, v_k$  не зустрічаються. Для заданої скінченної множини локальних властивостей змінних  $VZ$  і  $\bar{V} \in r_f(V)$  матимемо такі представлення для рівнів базового і глобального відображень:  $\gamma_{\bar{V}}^{ground} : \{\bar{V} = t \mid \bar{v} \in \bar{V}, t \in T(M_F^2, \bar{V})\} \rightarrow CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$  і  $\gamma_{\bar{V}}^{glb} : CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$ . На даній основі означаються  $\gamma_{\bar{V}}^{loc}(i) = \{c \rightarrow c_{pr} \mid c_{pr} \in CS_{PR}(Core(VZ))_{\bar{V}}\}$ . Для заданої скінченної множини локальних властивостей змінних  $VZ$ ,  $\langle VZ, t \rangle \in VZ : \bar{V} \in r_f(V)$ ,  $I \in CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$  означається оператор одержання інформації:  $VZ_{\bar{V}}^{oi}(I) = \{VZ(\bar{V}') \mid \bar{V}' \in t(\bar{V}), rc \rightarrow VZ(\bar{V}') \in I\}$ .

Для отриманого формулювання  $VZ$  є скінченною множиною локальних властивостей змінних,  $\langle VZ, t \rangle \in VZ$ ,  $\bar{V} \in r_f(V)$ ;  $I \in CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$ , тоді  $\xi_{\bar{V}}(I) \subseteq VZ_{\bar{V}}^{oi}(I)$ . Правило редукції є функцією  $fr(CS_{PR} \rightarrow^{\circ} CS_{PR}) \rightarrow (CS_{PR} \rightarrow^{\circ} CS_{PR})$  такою, що для кожного  $I \in [CS_{PR} \rightarrow^{\circ} CS_{PR}]$  матимемо, що  $\xi(I) = \xi(fr(I))$  і  $lub(I) \geq lub(fr(I))$ . Для довільного  $I \in [CS_{PR} \rightarrow^{\circ} CS_{PR}]$  означається  $\Theta(I) = \{rc \rightarrow c_{pr} \in I\}$  для якого не існує такого  $rc' \rightarrow c_{pr} \in [I \cup Set]$ , що  $rc' \subset rc$ , де  $Set$  стає множиною тавтологічних стрілок. У випадку, коли  $VZ$  є скінченною множиною властивостей змінних ширина яких теж є скінченною, то  $kmax = \max\{\rho(vz) \mid vz \in VZ\} : I \in CS_{PR}(VZ)_{\bar{V}}$ . Відповідно, якщо  $\bar{V}_1(rc \rightarrow c_{pr})$  є множиною виділених змінних, які зустрічаються в  $rc \rightarrow c_{pr}$ , то прототип відображення на множині отриманих стрілок задаватиметься у виді  $\phi(I) = (I \setminus \{i \in I \mid \bar{V}_1(i) \neq \emptyset\}) \cup \{i[\bar{v}_1/v_1] \dots [\bar{v}_n/v_n] \mid i \in I, \bar{V}_1(i) = \{v_1, \dots, v_n\}\}$ .

У шостому розділі виконано категорійну інтерпретацію створеного методу інтелектуальної підтримки прийняття рішень у процесі буріння.

Як  $\wedge LP$ -категорійна стратегія розглядається індексована категорія  $[\mapsto_1]$  над базовою категорією  $K$ . Для кожного  $D_i \in CS_K^i$  об'єкти і стрілки в  $[\mapsto_1 D_i]$  розглядаються як формули і доведення (абстрактного типу  $D_i$ ), відповідно. Для заданої цілі  $QM$  абстрактного типу  $D_i$  і  $f : r \rightarrow D_i$  в  $K$   $f \sim QM = QM(f)$  є ініціалізацією для  $Goal : Sol(TP).QM$ . Представлення виду  $QM : D_i$  і  $f : D_i$  в такій нотації рівносильні, відповідно, до  $QM \in CS_{QM D_i}^i$  і  $f \in Mr_{QM D_i}$ . Для заданої  $\wedge LP$ -категорійної стратегії твердженням (абстрактного типу  $D_i$ ) є об'єкт  $tr$  із відповідною парою  $(RC, SC)$  цілей абстрактного типу  $D_i$ , що відповідає початковому представленню для  $RC \xrightarrow{tr} SC$ . Модифікаційний запит розглядається, відповідно, як пара  $(Q_M, [\mapsto_1])$ , де  $[\mapsto_1] \in \wedge LP$ -

категорійною стратегією і  $Q_M$  – є множиною тверджень. У загальному випадку  $Q_M$  інтерпретується як запит над  $[\mapsto_1]$ . У той же час модифікаційний запит можна також розглядати як індексовану категорію  $Q_M^K$  над  $CS_K^i$  таку, що  $Q_M^K(D_i)$  є категорією об'єктів абстрактного типу  $D_i$  для стрілок  $tr: RC_i \rightarrow SC_i$  тверджень типу  $D_i$ .

Необхідна сигнатура першого порядку  $M_{F_1}$  утворюється з множини  $F$  функціональних символів і множин  $PS$ -предикатних символів відповідної розмірності. На такій основі виконується побудова категорії  $T_{M_{F_1}}$  як алгебраїчної категорії на основі  $F$ . Об'єктами  $T_{M_{F_1}}$  є натуральні числа, стрілками із  $k$  до  $l \in l$ -кортежі з термів, побудовані на основі множин змінних  $\{\bar{v}_1, \dots, \bar{v}_k\}$ .

$$CS_{T_{M_{F_1}}}^i = N, T_{M_{F_1}}(k, l) = Sol_{M_{F_1}} \left( \{\bar{v}_1, \dots, \bar{v}_k\} \right)^l.$$

Виконується оголошення індексованої категорії  $[\mapsto_{PS}^1]$  над  $K$  такої, що: 1)  $[\mapsto_{PS}^1(D_i)]$  дискретна категорія, об'єктами якої є пари  $\langle ps, f \rangle$  такі, що  $ps: r \in PS$  і  $f: D_i \rightarrow r$  є стрілкою в  $K$ ; 2)  $[\mapsto_{PS}^1(D_i)]$ , де  $f: r \rightarrow D_i$  є функтором, що задає відображення  $ps(t) \in CS_{[\mapsto_{PS}^1(D_i)]}^i$  в  $c_i(f, t)$ .

Функтори в  $\wedge LP$ -категорійній стратегії розглядаються як інтерпретації. Якщо  $[F] = (F, \iota)$  є інтерпретацією з  $[\mapsto_1]$  в  $[\mapsto_1]$  то даний факт означає також, що  $F(x): [tcp]$  для кожного об'єкт або стрілки  $tcp$  в  $K$ . Для заданого запиту  $Q_M$  над категорійною стратегією  $[\mapsto_1]$ , моделлю  $Q_M$  буде кортеж  $([F], \nu, CH)$ , де  $[F]: [\mapsto_1] \rightarrow [\mapsto_2]$  є інтерпретацією, і  $\nu$  є функцією, що виконує відображення твердження  $[SC \xleftarrow{tr} RC] \in Q_M$  у стрілку виду  $[SC] \xleftarrow{\nu(tr)} [RC]$ ,  $CH$  – ієрархія обмежень в якій здійснюється інтерпретація. Розглянемо  $\wedge LP$ -категорійну стратегію  $[\mapsto_{M_F}^1]$ , запит  $Q_M$  і індексовану категорію  $[\mapsto_2]$  над  $T_{M_{F_1}}$  таку, що: 1)  $[\mapsto_2(k)] = r_f(Sol_{M_{F_1}}(\emptyset)^k)$ , що є впорядкованою множиною, яка розглядається як категорія; 2)  $[\mapsto_2(t)(tcp) = \left\{ \langle i'_1, \dots, i'_k \rangle \mid \iota[\bar{v}_1 / i'_1, \dots, \bar{v}_k / i'_k] \in tcp \right\}$ . Інакше кажучи, переіндексований функтор даватиме факторизацію всіх кортежів термів  $tcp$  через  $\iota$ . Для  $\wedge LP$ -категорійної стратегії  $[\mapsto_{PS}^1]$  та індексованої категорії  $[\mapsto^2]$  над  $K$  такої, що: 1) для кожного  $D_i \in CS_K^i$ ,  $[\mapsto^2(D_i)] = r_f(LP.st(1, K))$ , яка є впорядкованою множиною, що розглядається як категорія; 2) для кожного  $f \in LP.st_K(D_i, r)$ ,  $[\mapsto^2(f)(tcp) = \{Sol \in LP.st(1, D_i) \mid f \in tcp\}$  інтерпретація  $[F]$  задає відображення



атомарної цілі типу  $D_i$  на множину стрілок із граничного об'єкта для  $K$  в  $Q_M$ . Ці стрілки фактично є категорійними відповідниками базових термів.

Для  $\wedge LP$ -категорійної стратегії  $[\mapsto^2]$  інтерпретація  $[F]$  із  $[\mapsto^1]$  в  $[\mapsto^2]$  зводиться до відображення стрілок  $Sol_1$  і  $Sol_2$  на множину стрілок в  $[\mapsto^2]$ . Це у свою чергу, означатиме, що  $[ps\rho] \supseteq [ps]$  і  $[ps\rho] \supseteq [ps(\langle \rho_1, \rho_2 \rangle)]$ , тобто фактично  $[ps\rho] \supseteq [ps]; \langle \rho_1, \rho_2 \rangle$ . Іншими словами, інтерпретація для  $[ps\rho]$  повинна містити як інтерпретацію для  $ps$ , так і для семантичного елемента, що представляється через  $\rho$ . Для заданого запиту  $Q_M$  над  $[\mapsto^1]$  будемо вважати незв'язаною моделлю для  $Q_M$ , якщо вона існує, модель  $MD: [\mapsto^1] \rightarrow [\mapsto^2]$  таку, що для кожної іншої моделі  $MD'$  для  $Q_M$  існуватиме унікальна інтерпретація  $I$  така, що  $MD' = [MD; I]$ . Для двох заданих станів (режимів технологічного процесу)  $Mode_1: D_1$  і  $Mode_2: D_2$  у  $\wedge LP$ -категорійній стратегії  $[\mapsto^1]$  уніфікатором для них представляється з'єднувачем  $\langle t_1, t_2 \rangle$  стрілок базової категорії таких, що  $t_1: \gamma \rightarrow D_1, t_2: \gamma \rightarrow D_2$  та  $t_1 \tilde{Q}M_1 = t_2 \tilde{Q}M_2$ . Найбільш загальний уніфікатор  $mgu$  для цілей  $QM_1: D_1$  і  $QM_2: D_2$  в  $\wedge LP$ -категорійній стратегії  $[\mapsto^1]$  розглядається як максимальний елемент в  $\bigcup_{[QM_1, QM_2]} V$  індексованій категорії  $[\mapsto^1_{M_{F_1}}]$  для заданих цілей  $ps_1(t_1): D_1; ps_2(t_2): D_2$  уніфікатором є пара стрілок  $Sol_1: \gamma \rightarrow D_1$  і  $Sol_2: \gamma \rightarrow D_2$ . Для заданого запиту  $(Q_M, [\mapsto^1])$  означається транзитивна система з мітками  $\left( \bigcup_{D_i \in CS_k^i} CS_{[\mapsto^1(D_i), \sim]}^i \right)$  із станами (режимами технологічного процесу) як об'єкти відповідно до таких правил: 1) твердження зворотного ланцюга  $QM \xleftarrow{\langle Sol, t, tr \rangle} \sim t \tilde{RC}$ , якщо  $tr$  є твердженням типу  $SC \xleftarrow{tr} RC$  і  $\langle Sol, t \rangle$  є уніфікатором для  $Mode$  і  $RC$  (тобто, що  $Sol \tilde{Q}M = t \tilde{RC}$ ); 2) стрілки зворотного ланцюга  $QM \xleftarrow{\langle Sol, f \rangle} \sim RC$ , якщо  $QM$  є ціллю в шарі  $D_i$ , а  $f: SC_i \leftarrow RC_i$  є стрілкою в шарі  $r$  і  $\langle Sol, f \rangle$  є редукційною парою для  $QM$ . Для модифікаційного запиту  $Q_M$  у синтаксичній категорійній стратегії  $[\mapsto^1_{M_{F_1}}]$  і цілі  $ps(t_i)$  арності  $k$  твердження  $ps(t_2) \xleftarrow{tr} r(t)$  і найбільш загального уніфікатора  $\langle Sol_1, Sol_2 \rangle$  для  $ps(t_1)$  і  $ps(t_2)$  матимемо  $mgu$  – дедукційний крок виду  $ps(t_1) \xleftarrow{\langle Sol_1, Sol_2, tr \rangle} fr(Sol_2; t)$ , що, власне, відповідатиме одному кроку стандартної Prolog-дедукційної процедури. Для запиту  $Q_M$  в  $[\mapsto^1_{PS}]$  і інтерпретації  $[F]$  в  $\wedge LP$ -категорійній стратегії  $[\mapsto^2]$ ,  $[ps(t)] = \{Sol.Answer(\Delta) \mid \Delta: ps(t) \sim *QM\}$  є найбільш загальним застосуванням базової категорійної дедукції, де базовою категорійною дедукцією є дедукція, чиєю останньою ціллю є шар  $[\mapsto^1(i)]$ . Для кожного

твердження  $ps_1(t_1) \xleftarrow{tr} ps_2(t_2)$ , якщо  $\Delta$  є найбільш загальною базовою дедукцією для  $ps_2(t_2)$ , то тоді  $\Delta' \xrightarrow{\langle id, id, tr \rangle} ps_1(t_1) \sim ps_2(t_2)$ ,  $\Delta$  є найбільш загальною базовою дедукцією для  $ps_1(t_1)$  при  $Sol.Answer(\Delta') = Sol.Answer(\Delta)$ . Тому  $[ps_1(t_1)] \supseteq [ps_2(t_2)]$ , а це, у свою чергу, дає очевидне відображення  $v$  із множини тверджень у множину стрілок у шарах для  $[\mapsto^2]$ , і нарешті,  $([F, v])$  є моделлю для  $Q_M$ . Дедукцію для  $Q_M$  розглядають як згладжену на шарі  $D_i$ , коли всі поля  $cf$  у мітках двох правил зворотного ланцюга є ідентичними на шарі  $D_i$ . Категорійну дедукцію розглядають як просту(спрошену), якщо: 1) не існує двох послідовних кроків дедукції для стрілок зворотного ланцюга; 2) не існує кроків дедукції з ідентичними стрілками для стрілок зворотного ланцюга.

Означається категорія  $SDS_{Q_M}$  простих дедукцій таким чином: 1)  $CS_{SDS_{Q_M}}^i = CS_{DS_{Q_M}}^i$ ; 2)  $SDS_{Q_M}(QM, QM')$  є множиною простих дедукцій із  $QM'$  до  $QM$ ; 3)  $id_{QM} = \emptyset_{QM}$ ; 4)  $[\Delta; \Delta'] = SP(\Delta' * \Delta)$ . Для заданого запиту  $Q_M$  в  $[\mapsto^1]$ ,  $MF_{Q_M}$  є незв'язаною моделлю для  $Q_M$  в  $FC_{Q_M}(\wedge LP, [\mapsto^2])$ . Для заданого модифікаційного запиту  $Q_M$  в  $[\mapsto^1]$ , незв'язаної моделі  $MD: [\mapsto^1] \rightarrow [\mapsto^2]$  і цілей  $QM, QM'$  типу  $D_i$ , якщо існує стрілка  $f: MD(QM) \rightarrow MD(QM')$  в шарі  $MD(D_i)$  для  $[\mapsto^2]$ , тоді існуватиме також проста згладжена дедукція виду  $QM' \xrightarrow{\Delta} * QM$ . У випадку модифікаційного запиту  $Q_M$  в  $[\mapsto^1]$  ціль  $QM$  визначатиметься моделлю  $MD([F], v, CH): [\mapsto^1] \rightarrow [\mapsto^2]$ . Якщо  $\Delta$  є дедукцією із  $QM$  в  $QM'$  з обчислюваною відповіддю  $Sol.Answer$ , то існує стрілка  $Sol.Answer^{-1}[QM] \xleftarrow{ps} [QM']$  в  $[\mapsto^2]$ , де  $ps = \mathfrak{R}(\Delta)$  означається за допомогою індукції: 1)  $\mathfrak{R}(\emptyset_{QM}) = id_{QM}$ ; 2)  $\mathfrak{R}(\Delta * \langle sol, f \rangle) = sol \sim (\mathfrak{R}(\Delta)) \circ f$ . Модифікаційний запит  $([\mapsto^1], Q_M)$  вважається ціленезалежним, якщо існує множина  $\{tcp_1: D_1, \dots, tcp_k: D_k\}$  типізованих абстрактних цілей. Для заданих двох премоноїдних індексованих функторів  $(F, \eta)$  та  $(F', \eta')$  із  $[\mapsto^1]$  в  $[\mapsto^2]$  премоноїдне індексоване природне перетворення розглядається як індексоване природне перетворення  $(CF^\nabla, D_1)$  таке, що кожне  $D_i$  у базовій категорії  $[\mapsto^1, (D_1)_{D_i}]$  є премоноїдним природним перетворенням. Для заданого модифікаційного запиту  $Q_M$ , побудованого над премоноїдною  $\wedge LP$ -категорійною стратегією  $[\mapsto^1]$ , премоноїдна модель для  $Q_M$ , представляється моделлю  $([F], v, CH)$ , де  $[F]$  є премоноїдною інтерпретацією. Розглядається індексована

категорія  $[\mapsto^2$  над  $K$ . Для кожного шару  $[\mapsto^2 D_i$  можна ввести премоноїдну структуру через:

1)  $tcp_1 \Theta_{D_i} tcp_2 = tcp_1 \cap tcp_2$  для кожного  $tcp_1, tcp_2 \subseteq LP.st(\iota, K)$ ;

2) якщо  $tcp_1 \subseteq tcp_1'$  та  $tcp_2 \subseteq tcp_2'$ , тоді  $tcp_1 \cap tcp_2 \subseteq tcp_1' \cap tcp_2'$ .

Для заданої премоноїдної  $\wedge LP$ - категорійної стратегії  $[\mapsto^1$  над  $K$  і цілей  $QM : D_i$  і  $QM' : r$  премоноїдним уніфікатором із  $QM'$  в  $QM$  вважається кортеж  $\langle Sol, \iota, QM_1, QM_2 \rangle$  такий, що існує  $\gamma \in CS_K^i$ , де  $Sol : \gamma \rightarrow D_i$ ,  $\iota : \gamma \rightarrow r$ ,  $QM_1 : \gamma$ ,  $QM_2 : \gamma$ :  $QM_1 \Theta_{\gamma} \iota \sim QM' \Theta_{\gamma} QM_2 = Sol \sim QM$ . Для заданої премоноїдної  $\wedge LP$ - категорійної стратегії  $[\mapsto^1$  означено транзитивну систему з мітками  $\left( \bigcup_{D_i \in CS_K^i} CS_{[\mapsto^1 D_i]}^i, \sim \right)$  і з цілями як об'єкти.

Задовільне рішення проблеми (в формі підстановки значень керованих змінних, що повністю або частково задовольняє накладену систему або ієрархію обмежень) – новий кейс зберігається разом із методом адаптації та солвінгу (рис. 4).

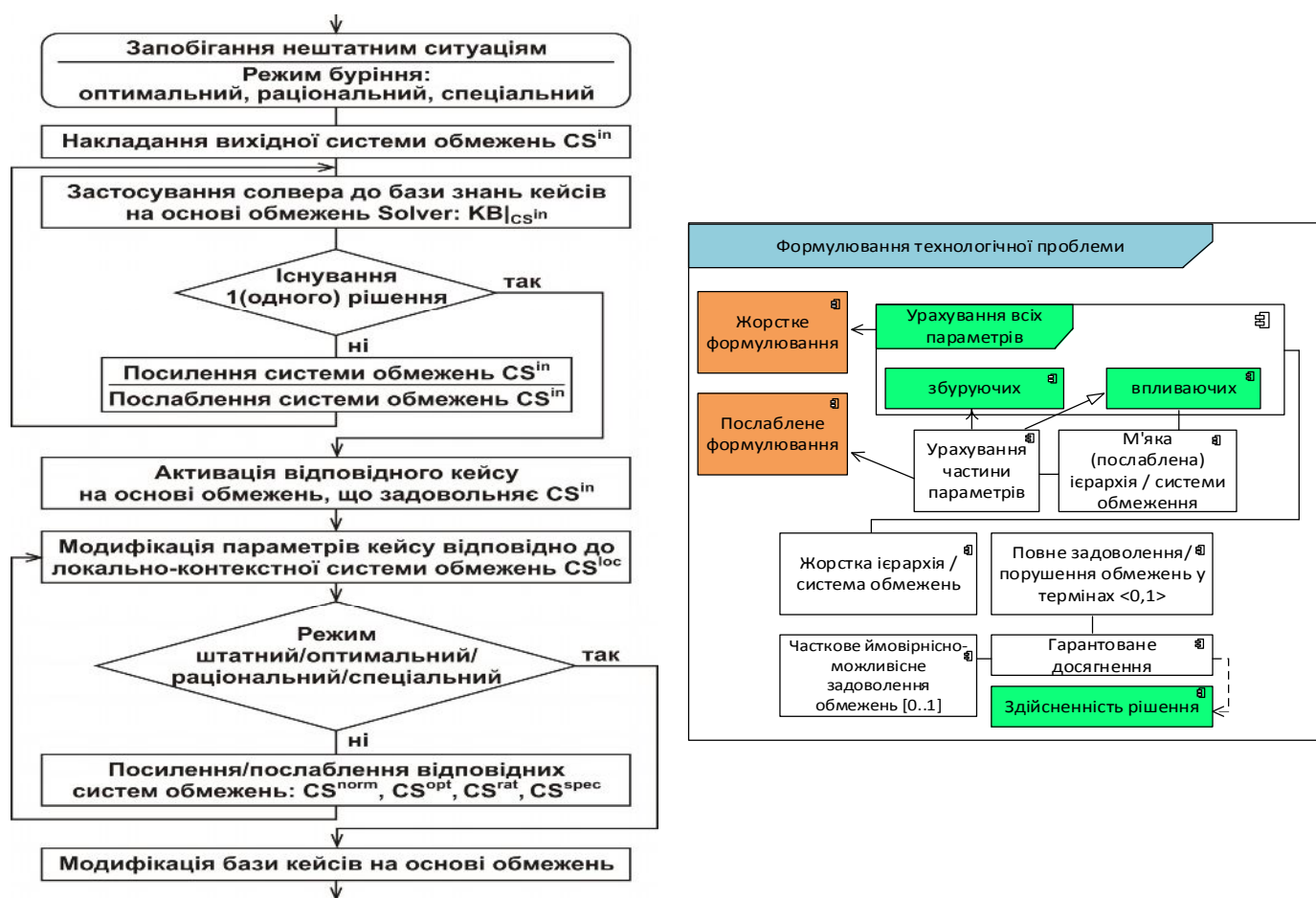


Рисунок 4 – Алгоритмічні схеми підтримки прийняття рішень засобом кейсів на основі обмежень

Якщо використовується  $\wedge LP$ - категорійна стратегія  $\left[ \mapsto_{M_{F_1}}^1 \right]$ , то найбільш загальна категорійна дедукція відповідає поняттю  $DS$  - резолюції для атомарних цілей і бінарних тверджень, за винятком кроків ідентифікації виду  $ps(t) \sim \rightarrow ps(t)$ . Відповідно для премоноїдної  $\wedge LP$ - категорійної стратегії  $\left[ \mapsto_{M_{F_2}}^\oplus \right]$  і семантичної  $\wedge LP$ - категорійної стратегії  $\left[ \mapsto^2 \right]$  виконано побудову моделі  $([F], v, CH)$  для базових обчислюваних відповідей через означення для кожного об'єкта  $QM$ :  $[QM]_{D_i} = \{Sol.Answer(\nabla) | \nabla : QM \sim \rightarrow *QM', QM':1\}$ . Показано, що  $L$ - моноїдні категорії і функтори утворюють категорію зі стандартними означеннями для композиції функторів і нейтральних елементів. Для заданої  $L$ - моноїдної  $\wedge LP$ - стратегії  $\left[ \mapsto^1 \right]$  означено транзитивну систему з мітками  $\left( \bigcup_{D_i \in CS_K^i} CS_{\left[ \mapsto^1_{D_i} \right]} \sim \rightarrow \right)$  і з цілями в ролі об'єктів. Для заданих  $L$ - моноїдних категорій  $K_1$  і  $K_2$ , як  $L$ - моноїдний функтор  $F : K_1 \rightarrow K_2$  розглядається функтор, такий що:  $F(f \Theta ocp) = F(f) \Theta F(ocp)$ ,  $F(v_{tcp}) = v_{F(tcp)}$ ,  $F(r_{tcp}) = r_{F(tcp)}$  для кожного  $tcp, ocp \in CS_K^i$  і  $f \in Mr_K$ .

Таким чином, створена методика дає можливість отримувати нові рішення технологічних проблем на основі вже вирішених кейсів на основі обмежень із бази знань інтелектуальної системи (рис. 5).

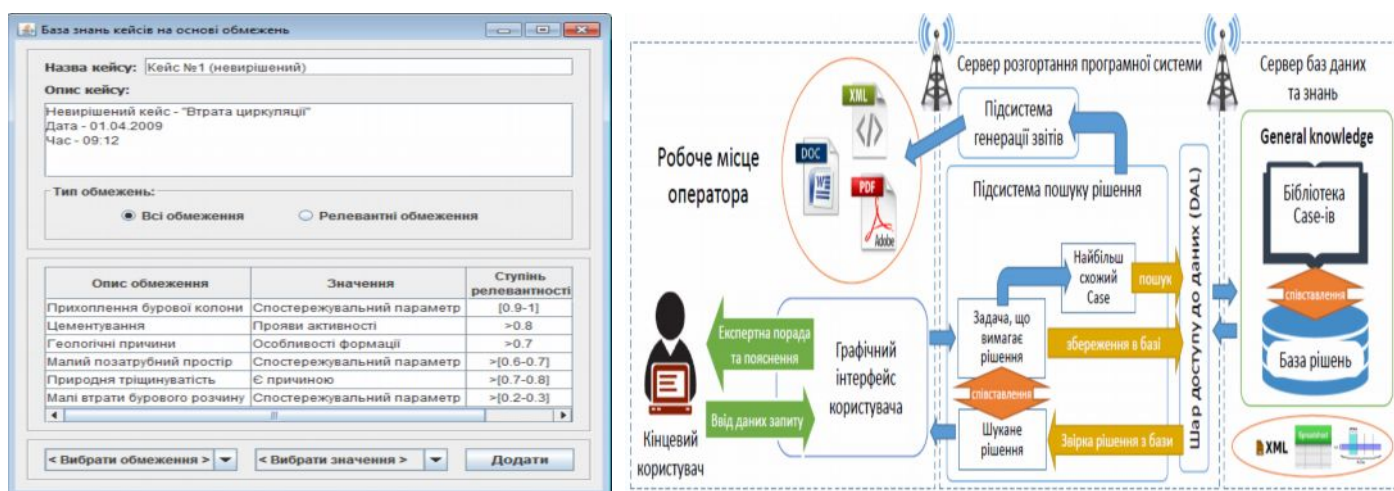


Рисунок 5 – Структура кейсів у концептуальній схемі реалізованої методології

Впровадження створеної методології в промислових умовах для провідних нафтогазовидобувних підприємств України показало зростання на рівні 30 - 35% ефективності застосування процедур підтримки прийняття рішень у відповідних знання-орієнтованих системах з кейс-базованими представленнями знань у порівнянні з класичними інтелектуальними системами базованими на правилах.

У **висновках** сформульовано наукові та практичні результати роботи.

У **додатках** наведені обґрунтування введених формально-логічних тверджень та акти про впровадження отриманих результатів дисертаційного дослідження.

## ВИСНОВКИ

У роботі сформульовано й вирішено актуальну науково-прикладну проблему формування методології моделювання підтримки прийняття рішень у знання-орієнтованих інформаційних технологіях керування бурінням нафтових і газових свердловин з метою підвищення ефективності технологічного процесу в умовах невизначеності. Як спосіб розв'язання зазначеної проблеми запропоновано концепцію інформаційного моделювання в термінах обмежень, що базується на використанні послідовностей керованих та збурюючих параметрів технологічного процесу з накладеними на них множинами, системами та ієрархіями обмежень.

У ході проведеного дослідження розроблено цілий ряд нових методів, технологій і програмних засобів побудови й використання інформаційних моделей на основі обмежень для забезпечення підтримки прийняття рішень при керуванні процесом буріння свердловин на нафту і газ, які довели свою ефективність у процесі створення та експлуатації відповідних інформаційних інтелектуальних систем на провідних підприємствах нафтогазової галузі України.

Отримані в дисертації результати є істотним внеском у розвиток теорії й практики підтримки прийняття рішень при керуванні технологічними процесами на основі новітніх знання-орієнтованих інтелектуальних інформаційних технологій, зокрема:

1. Вперше обґрунтовано введення ієрархій обмежень для опису надобмежених систем обмежень шляхом специфікації обмежень по відношенню до їх ієрархічного положення або встановлених преференцій, що дозволяє відповідну декларативну специфікацію не тільки обмежень, що повинні бути витримані, але також і для випадку м'яких обмежень на явно заданій, але скінченній кількості вимірів ієрархії їх стану (положення, впливу). Таким чином, у даному контексті послаблення впливу обмежень допомагає в пошуку рішення для неперервного випадку недообмеженої системи обмежень.

2. Вперше представлено застосування ієрархій обмежень із мітками (для випадку релевантних компараторів), де як вагові мітки застосовуються значення сили (впливу) обмежень або їх преференції. Відповідно, рішення для ієрархії обмежень буде складатися з інстанціацій для змінних, що дозволяють обмеження з урахуванням релевантної структури ієрархії. Базові компоненти проблем стверджуватимуться, відповідно, в термінах обмежень, що робить можливим формулювання проблеми у вигляді певного набору (в формі множини, системи, ієрархії) обмежень, що організуються механізмами правил типу «умова релевантності-умова задоволення» та їх формалізмами.

3. Побудовано інформаційну модель семантичної шеми, що задає специфікацію для множин баз знань кейсів з обмеженнями, кожна з яких може бути вибрана як модифікація вихідної, після виконання модифікаційного предикатного запиту в накладеній ієрархії обмежень, стосовно якої модифікаційні предикатні правила мають декларативну інтерпретацію.

4. Вперше розроблено семантичну інтерпретацію керованих змінних технологічного процесу, що дозволяє виконання побудови відображення в рамках знання-орієнтованої системи для перетворення запитів оператора технологічного процесу в логічно-обґрунтовану інтерпретацію в рамках відповідного домену (LP, CLP, ALP).

5. Обґрунтовано співвідношення між множиною модифікаційних літералів знання-орієнтованої системи і релевантними правилами у процесі виконання розширення вбудовування модифікаційних предикатних запитів у множину Prolog-програм з обмеженнями на випадок диз'юнктивних модифікаційних предикатних запитів, що дозволяє заміну кожного модифікаційного літералу на відповідний предикат з визначеною істинністю.

6. Обґрунтовано, що основним елементом побудованої інтерпретації є семантика обчислюваних відповідей, її еластична версія, семантика шем виклику та її версія ініціалізації на введених множинах обмежень як для випадку кожної конкретної семантики, так і для випадку абстрактної інтерпретації модифікаційних запитів в цілому. Для виконання даного завдання перелічені семантики об'єднані у збірну семантику, що дозволило введене операції над збіркою семантикою знання-орієнтованої системи визначити за допомогою тих самих операцій, що і над незбіркою семантикою.

7. Вперше побудовано інформаційну модель домену для аналізу розділення та незв'язаності керованих змінних технологічного процесу шляхом використання техніки лінійного уточнення. Суть підходу полягає у виконанні аналізу на основі внутрішніх залежностей у межах домена, що виражаються на відповідних рівнях накладених обмежень. Базовий домен конструюється на основі множин залежностей між множинами керованих змінних. Аналіз незв'язаності досліджує питання обчислення множини вільних змінних, які в заданій точці виконання запиту є гарантовано зв'язаними з виділеними змінними, що дозволяє визначати корисність інформації, одержаної в результаті аналізу незв'язаності для оптимізації роботи процедури уніфікації, імплементації множин, систем та ієрархій обмежень.

8. Досліджено підстановки змінних, що є результатом абстрагування множини вільних змінних, тобто таких, які даною підстановкою відображаються на множину виділених змінних (параметрів технологічного процесу). Для заданого набору керованих змінних на основі модифікаційних процедур і правил вибору конкретним шемам виклику виконується присвоєння імені процедури виклику знайдене під час виконання процедури задоволення цілі модифікації, разом із частковими обмеженнями, обчисленими під час даного виклику, і які визначаються аргументами процедури виклику, що дозволяє використовувати семантики шем виклику для накопичення кожної із шем викликів, знайдених під час виконання процедури задоволення цілі модифікації керованих параметрів.

9. Розроблено категоризовані інформаційні моделі, які базуються на семантиці коректних обчислюваних відповідей, що дозволяє отримати сумісність і з іншими видами семантик, зокрема, такими, які забезпечують обробку запитів із введеними обмеженнями між модифікаціями, що відповідають дискретним станам технологічного процесу.

10. Розроблено та обґрунтовано категоризацію очікуваних рішень технологічних проблем у дедуктивних процедурах знання-орієнтованої системи шляхом обмеження кроків дедукції суто до виконання найбільш загальних уніфікаторів і найбільш загальних редукційних пар, що дозволило отримати нову транзитивну систему і відповідне представлення найбільш загальної категорійної дедукції з означеними найбільш загальними обчислюваними відповідями, які інтерпретуються як рішення релевантних технологічних проблем у створеній методології підтримки прийняття рішень. Впровадження методології у промислових умовах провідних нафтогазовидобувних підприємств України показало зростання ефективності функціонування процедур підтримки прийняття рішень при використанні відповідних знання-орієнтованих систем з кейс-орієнтованими представленнями знань у порівнянні з класичними інтелектуальними системами, базованими на правилах на рівні 30–35%.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити як інструмент підтримки діалогу з користувачем в інформаційних системах на основі баз даних і знань / В. І. Шекета // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2003. – Т. 8, № 4. – С. 113–119.

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

3. Шекета В. І. Аналіз еластичних семантик шаблонів виклику модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – Т. 9, № 1. – С. 117–122.

4. 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. – (Серія «Технічні науки»). – 2003. – № 2 (6). – С. 50–57.

5. Шекета В. І. Побудова предикатних запитів та їх модифікація / В. І. Шекета // Науковий вісник Кременчуцького інституту економіки та нових технологій ім. Ю.І. Кравченка. – 2004. – № 1–2 (4-5). – С. 196–201.

6. Шекета В. І. Використання еластичних семантик модифікаційних предикатних запитів для інформаційних систем на основі баз даних і знань / В. І. Шекета // Вісник Технологічного університету Поділля. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 1, Ч. 1(58). – С. 128–132.

7. Шекета В. І. Автоматизація процесів обробки інформаційних потоків в нафтогазовій предметній області шляхом модифікації предикатних запитів / В. І.

Шекета, М. Я. Бестильний, Т. В. Дитко // Вісник Технологічного університету Поділля. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 2, Ч. 1, Т. 3 (60). – С. 32–36.

8. Шекета В. І. Використання домена логічних програм для представлення абстрактних типів даних модифікаційних запитів / В. І. Шекета // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – Т. 9, № 2. – С. 129–135.

9. Шекета В. І. Використання необхідної модифікації, як інструменту трансформації баз знань нафтогазової предметної області / В. І. Шекета // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – (Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка»). – 2003. – Вип. 70. – С. 39–46.

10. Шекета В. І. Дослідження позитивних і структурних систем обмежень для модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Збірник наукових праць національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2004. – Т. 2, № 19. – С. 91–98.

11. Шекета В. І. Дослідження семантики модифікаційних предикатних запитів для інформаційних систем на основі баз даних і знань нафтогазової предметної області / В. І. Шекета // Науковий Вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 1 (7). – С. 54–59.

12. Шекета В. І. Ініціалізація еластичних семантик над простором Гербранда для модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2003. – № 2 (22). – С. 13–18.

13. Шекета В. І. Аналіз семантики шаблонів виклику модифікаційних предикатних запитів для інформаційних систем на основі баз даних і знань / В. І. Шекета // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – (Серія «Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології»). – 2003. – № 496. – С. 217–228.

14. Шекета В. І. Застосування процедури `append` при аналізі абстрактних типів даних модифікаційних запитів / В. І. Шекета // Автоматика, автоматизація, електротехнічні комплекси і системи (ААЕКС). – 2004. – № 1 (13). – С. 106–114.

15. Шекета В. І. Аналіз властивостей модифікаційних предикатних запитів на основі абстрактних алгоритмів / В. І. Шекета // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – № 4 (27). – С. 56–60.

16. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити / В. І. Шекета // Проблеми програмування. – 2004. – № 2–3. – С. 339–343.

17. Шекета В. І. Прийняття рішень при модифікації предикатних запитів / В. І. Шекета // Штучний інтелект. – 2004. – № 3. – С. 392–404.

18. Шекета В. І. Дослідження коректних трансформацій інформаційної предикатної схеми на множині об'єктів нафтогазової предметної області / В. І. Шекета // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 3 (9). – С. 85–90.

19. Sheketa V. I. Scaling of user predicate queries facilities in distributed information systems of oil & gas subject domain / V. I. Sheketa // Herald of the Kremenchug State Polytechnic University. – 2004. – N 5 (28). – P. 28–31.



20. Шекета В. І. Побудова системи абстрактних типів і системи обмежень модифікаційних предикатних запитів для інформаційних систем / В. І. Шекета // Вісник СевДТУ. – (Серія «Інформатика, електроніка, зв'язок»). – 2004. – Вип. 60. – С. 58–64.

21. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити, як множина логічних Prolog-програм з обмеженнями / В. І. Шекета // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2004. – № 1 (11). – С. 114–117.

22. Шекета В. І. Категоріальна інтерпретація модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Труды Одесского политехнического университета. – (Серія «Технічні науки»). – 2005. – Вип.1 (23). – С. 92–98. (Індексується в RSCI-ПІНЦ).

23. Шекета В. І. Абстрактний аналіз домену змінних модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета, В. В. Бандура, Н. В. Сабат // Вісник Хмельницького національного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2005. – № 4, Ч. 1, Т.1 (68). – С. 266–270.

24. Шекета В. І. Побудова формальної моделі модифікаційних предикатних запитів в рамках категорійної дедукції / В. І. Шекета // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – (Серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»). – 2004. – № 521. – С.112–120.

25. Шекета В. І. Побудова домену низспадно замкнених множин підстановок для модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 2 (29). – С. 217–223.

26. Шекета В. І. Алгоритми лінійного уточнення доменів модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 3 (30). – С. 124–131.

27. Шекета В. І. Побудова збірної семантики для модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 1. – С. 10–15.

28. Шекета В. І. Дослідження абстрактних операцій на множині позитивних і структурних систем обмежень для модифікаційних запитів / В. І. Шекета // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 2. – С. 90–95.

29. Шекета В. І. Дослідження локальних властивостей змінних модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2004. – № 3. – С. 13–19.

30. Шекета В. І. Побудова моделі модифікаційних предикатних запитів на основі синтаксичної категорійної стратегії / В. І. Шекета // Бионика интеллекта. – 2004. – № 1 (61). – С. 111–115.

31. Шекета В. І. Дослідження категорійної моделі модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Науковий журнал Вінницького національного технічного університету. – 2005. – № 4 (61). – С. 69–77. (Індексується в RSCI-ПІНЦ).

32. Шекета В. І. Побудова домена для аналізу зв'язаності змінних модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета, Р. М. Федорак, Л. М. Гобир //

Вісник Хмельницького національного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2005. – Т. 1 (76), № 6. – С. 179–185.

33. Шекета В. І. Редукційний підхід до зменшення комплексності абстрактного аналізу домену модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета, Р. М. Федорак, В. В. Бандура // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2005. – № 5 (34). – С.10–15.

34. Шекета В. І. Дослідження розділення змінних модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета, В. В. Бандура, Р. М. Федорак // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1 (25). – С. 185–194.

35. Шекета В. І. Категорійне моделювання модифікаційних предикатних запитів для інформаційних систем / В. І. Шекета, Л. М. Гобир // Вісник ВПІ. – 2005. – № 6 (63). – С. 206 –214. (Індексується в RSCI-РІНЦ).

36. Шекета В. І. Дослідження повноти істинності в синтаксичних категорійних стратегіях модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Автоматизированные системы управления и приборы автоматики: Всеукр. межведомственный научно-техн. сб. – Харьковкий национальный университет радиоэлектроники. – 2005. – Вып. 132. – С. 34–43.

37. Шекета В. І. Дослідження Y-семантик для модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Радиоэлектроника и информатика. – 2005. – № 4 (33). – С. 116–122.

38. Шекета В. І. Застосування премоноїдної дедукції в семантичних стратегіях модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – (Серія «Информатика и моделирование»). – 2005. – № 56. – С. 121–136. (Індексується в RSCI-РІНЦ).

39. Шекета В. І. Дослідження моделі модифікаційних предикатних запитів на основі премоноїдних стратегій / В. І. Шекета // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – (Серія «Новые решения в современных технологиях»). – 2005. – № 57. – С. 10–21.

40. Шекета В. І. Побудова домену збірної семантики для модифікаційних предикатних запитів над простором Гербранда / В. І. Шекета, Б. В. Клим, Н. В. Сабат // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – № 1 (36). – С. 22–26.

41. Шекета В. І. Інтерпретація предикатних запитів на основі премоноїдної дедукції в семантичній стратегії і системі обмежень / В. І. Шекета, М. Я. Бестильний, Р. І. Храбатин // Науковий журнал «Проблеми програмування» інституту програмних систем НАН України. – 2006. – № 2–3. – С. 436–444.

42. Шекета В. І. Побудова моделі модифікаційних предикатних запитів на основі премоноїдних категорійних структур / В. І. Шекета // Вестник национального технического университета «Харьковский политехнический институт». – (Серія «Системный анализ, управление и информационные технологии»). – 2005. – № 59. – С. 93–104.

43. Шекета В. І. Аналіз абстрактних типів даних для модифікаційних предикатних запитів / В. І. Шекета // Комп'ютерні науки та інформаційні технології.

– Вісник національного університету «Львівська політехніка». – 2005. – № 543. – С. 103–112.

44. Випасняк Л. І. Використання коефіцієнтів впевненості при побудові предикатних запитів на основі шаблонів JAVA-JESS / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, М. Я. Бестильний // Вісник Хмельницького національного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2007. – Т. 2. – С. 43–46.

45. Випасняк Л. І. Імплементация CSP-концепцій для інтелектуального аналізу даних нафтогазової предметної області / Л. І. Випасняк, Б. І. Шпакодрай, В. І. Шекета // Проблеми програмування. – 2008. – № 2–3. – С. 355–360.

46. Випасняк Л.І. Моделювання інформаційно-пошукових задач на основі обмежень засобами графових інтерпретацій та предикатних схем / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, М. Я. Бестильний // Вісник Херсонського національного технічного університету. – 2008. – Вип. 2 (31). – С. 114–118.

47. Вовк Р. Б. Формалізація сумарної моделі студента в інтелектуальній тьюторній системі на основі обмежень / Р. Б. Вовк, В. І. Шекета // Вісник Хмельницького національного університету. – (Серія «Технічні науки»). – 2009. – Т. 2. – С. 242–248.

48. Випасняк Л. І. Графова інтерпретація інформаційних систем на основі баз даних та знань у рамках концепції задоволення обмежень та правил / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета // Математичні машини і системи. – 2010. – № 4. – С. 82–88. (Індексується в RSCI-РІНЦ).

49. Вовк Р. Б. Контроль станів технологічного процесу буріння на основі теорії задоволення обмежень / Р. Б. Вовк, В. І. Шекета, В. Р. Процюк // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2010. – № 3 (25). – С. 138–144.

50. Демчина М. М. Формальні методи інтерпретації даних та знань про нафтогазові об'єкти / М. М. Демчина, В. Р. Процюк, В. І. Шекета // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2011. – № 1 (27). – С. 100–108.

51. Вовк Р. Б. Автоматизована інтелектуальна система контролю нештатних ситуацій в бурінні / Р. Б. Вовк, В. І. Шекета // Нафтогазова енергетика. – (Серія «Наука і сучасні технології»). – 2011. – № 3 (16). – С. 108–120.

52. Вовк Р. Б. Формальний опис процесу контролю задоволення та порушення обмежень в інтелектуальних системах / Р. Б. Вовк, В. Р. Процюк, В. І. Шекета // Вісник національного університету «Львівська політехніка». – (Серія «Комп'ютерні науки та інформаційні технології»). – 2011. – № 694. – С. 189–199.

53. Вовк Р. Б. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при контролі технологічних параметрів / Р. Б. Вовк, В. І. Шекета, В. Д. Мельник // Методи і прилади контролю якості. – 2012. – № 29. – С. 119 – 129.

54. Демчина М. М. Моделювання нафтогазової предметної області на основі фреймово-продукційного підходу / М. М. Демчина, В. Р. Процюк, В. І. Шекета // Збірник наукових праць національного гірничого університету. – 2011. – Т. 1, № 36. – С. 98–105.

55. Демчина М. М. Система інтелектуальної підтримки прийняття оптимальних рішень в процесі буріння / М. М. Демчина, В. І. Шекета, Ю. Л. Романишин // Штучний інтелект. – 2013. – № 4 (62). – С. 301–312.

56. Демчина М. М. Експертні методи оцінки технологічних параметрів у процесі буріння свердловин / М. М. Демчина, В. І. Шекета, Р. Б. Вовк // Нафтогазова енергетика. – (Серія «Наука і сучасні технології»). – 2013. – № 1 (19). – С. 26–37.

57. Шекета В. І. Імплементация інтелектуальної стратегії прийняття рішень у процесі буріння / В. І. Шекета, М. М. Демчина, В. Д. Мельник // Нафтогазова енергетика. – 2013. – № 2 (20). – С. 38–50.

58. Шекета В. І. Інтелімедійна інформаційна система підтримки прийняття рішень в процесі буріння / В. І. Шекета, В. Д. Мельник, Л. І. Гобир // Проблеми інформаційних технологій. – 2016. – № 19. – С. 96–116. (Індексується в Index Copernicus).

59. Юрчишин В. М. Інформаційне моделювання нафтогазових об'єктів / Юрчишин В. М., Шекета В. І., Юрчишин О. В. – Івано-Франківськ: Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, 2010. – 196 с.

60. Шекета В. І. Побудова трансформаційних запитів для інформаційних систем на основі баз даних і знань нафтогазової предметної області / В. І. Шекета // II міжнар. наук.-практ. Internet-конф. «Динаміка наукових досліджень 2003», (Дніпропетровськ, 20–27 жовтня 2003 р.). – Дніпропетровськ, 2003. – С. 52–54.

61. Sheketa V. I. Predicate queries modification, as an tool to work with the knowledgebases of oil&gas subject domain / V. I. Sheketa // Proc. of 6-th International scientific conference «Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science – TCSET'2004», (Lviv-Slavsko, February 24–28, 2004). – Lviv, 2004. – P. 315–319. (Індексується в Scopus, Web of Science, IEEE Xplore Digital Library).

62. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити / В. І. Шекета // Проблеми програмування. – 2004. – № 2–3. – С. 339–343.

63. Шекета В. І. Побудова модифікаційних предикатних запитів для баз знань / В. І. Шекета // Матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф. «Системний аналіз та інформаційні технології», (Київ, 1–3 липня 2004 р.). – Київ, 2004. – С. 235–237.

64. Шекета В. І. Проблема обробки невизначеності при побудові предикатних запитів / В. І. Шекета, В. Р. Процюк // Матеріали Всеукраїнської наук. конф. «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики», (Львів, 21–23 вересня 2004 р.). – Львів, 2004. – С. 140–141.

65. Sheketa V. I. Scaling of user predicate queries facilities in distributed information systems of oil&gas subject domain / V. I. Sheketa // Proc. of the International conference of science and technology «Scalable systems and computer networks design and applications – Scalnet'04», (Kremenchuk, 28–30 September 2004). – Kremenchuk, 2004. – P. 82–87.

66. Шекета В. И. Модификационные предикатные запросы с коэффициентами уверенности / В. И. Шекета // Материалы X Юбилейной междунар. научной конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации», (Харьков-Туапсе, 28 сентября – 1 октября 2004 г.). – Харьков, 2004. – Ч. 2. – С. 14–16.

67. Sheketa V. I. Predicate queries modification as an tool for intellectualization of information systems / V. I. Sheketa // Proc. of the Fourth International Conference

«Internet-education-science. – New informational and computer technologies in education and science», (Vinnytsia, 5–9 October 2004). – Vinnytsia, 2004. – P. 495–499.

68. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити, як інструмент роботи з базами знань нафтогазової предметної області / В. І. Шекета, Л. М. Гобир, Т. О. Ваврик // Матеріали VII міжнар. наук.-практ. Internet-конф. “Наука і освіта 2004”, (Дніпропетровськ, 10–25 лютого 2004 р.). – Дніпропетровськ, 2004. – С. 29–32.

69. Шекета В. І. Автоматизація процесів обробки інформаційних потоків в нафтогазовій предметній області шляхом модифікації предикатних запитів / В. І. Шекета, М. Я. Бестильний, Т. В. Дитко // Матеріали III МНПК «Мікропроцесорні пристрої та системи в автоматизації виробничих процесів», (Хмельницький, 13–16 травня 2004 р.). – Хмельницький, 2004. – С. 32–36.

70. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити із коефіцієнтами впевненості / В. І. Шекета // Матеріали міжнар. конф. «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (ТАAPSD'2004), (Київ, 5–8 жовтня 2004 р.). – Київ, 2004. – С. 297–305.

71. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити / В. І. Шекета // Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології», (Чернівці, 19–21 травня 2004 р.). – Чернівці, 2004. – С. 33–34.

72. Шекета В. И. Модификационные предикатные запросы с коэффициентами уверенности / В. И. Шекета // Материалы Междунар. научн.-техн. конф. «Искусственный интеллект. Интеллектуальные и многопроцесорные системы», (Таганрог-Донецк, 20–25 сентября 2004 г.). – Таганрог-Донецк, 2004. – Т. 2. – С. 183–189.

73. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити із коефіцієнтами впевненості / В. І. Шекета // Праці 2-ї міжнар. школи-семінару «Теорія прийняття рішень», (Ужгород, 27 вересня – 2 жовтня 2004 р.). – Ужгород, 2004. – С. 95–96.

74. Шекета В. І. Автоматизація прийняття рішень в базах знань нафтогазової предметної області / В. І. Шекета, Г.І. Левицька, А.Ю. Левицький // Матеріали I міжнар. наук.-практ. Internet-конф. “Науковий потенціал світу 2004”, (Дніпропетровськ, 1–15 листопада 2004 р.). – Дніпропетровськ, 2004. – С. 20–21.

75. Шекета В. І. Обробка інформації в інформаційних системах шляхом модифікації предикатних запитів / В. І. Шекета, Л. М. Гобир // Матеріали IX міжнар. наук.-практ. конф. «Системи і засоби передачі та обробки інформації ССПОИ-2005», (Черкаси, 5–10 вересня 2005 р.). – Черкаси, 2005. – С. 106–108.

76. Шекета В. І. Категорійне моделювання модифікаційних предикатних запитів для інформаційних систем / В. І. Шекета, Л. М. Гобир // Матеріали VIII міжнар. конференції «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005)», (Вінниця, 24–27 жовтня 2005 р.). – Вінниця, 2005. – С. 123–124.

77. Шекета В. И. Применение премоноидной дедукции в семантических стратегиях модификационных предикатных запросов / В. И. Шекета // Материалы V междунар. научн.-техн. конф. «Проблемы информатики и моделирования», (Харьков, 24–26 ноября 2005 г.). – Харьков, 2005. – С. 13–14.

78. 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 міжнар. конф. молодих науковців «CSE – 2006», (Львів, 11–13 жовтня 2006 р.). – Львів, 2006. – С. 113 – 119.

79. Sheketa V. I Applicable scaling of user predicate queries in given categorical strategy and restrictions system / V. I. Sheketa, M. Y. Bestylny, R. I. Khrabatyn // Proc. of International scientific conference "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science – TCSET'2006", (Lviv-Slavske, February 28 – March 4 2006). – Lviv, 2006. – P. 34–37. (Індексується в Scopus, Web of Science, IEEE Xplore Digital Library).

80. Шекета В. І. Побудова мультиагентної моделі інтелектуальної системи для прогнозування неорганічних відкладень / В. І. Шекета, М. М. Яцишин, Л. І. Випасняк, О.Є. Шевчук // Матеріали III міжнар. конф. «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (ТАAPSD'2006), (Київ, 5–8 грудня 2006 р.). – Київ, 2006. – С. 147–151.

81. Шекета В. І. Аналіз модифікаційних предикатних запитів на основі категорійних структур / В. І. Шекета, М. Я. Бестильний, Р. І. Храбатин // Матеріали VI міжнар. конф. «Інтелектуальний аналіз інформації» (IAI-2006), (Київ, 16–19 травня 2006 р.). – Київ, 2006. – С. 324–333.

82. Шекета В. І. Інтерпретація предикатних запитів на основі премоноїдної дедукції в семантичній стратегії і системі обмежень / В. І. Шекета, М. Я. Бестильний, Р. І. Храбатин // Науковий журнал «Проблеми програмування» інституту програмних систем НАН України. – 2006. – № 2–3. – С. 436–444.

83. Реалізація предикатних запитів в Java-технологіях для інформаційних систем на основі баз даних та знань нафтогазової предметної області / Л. І. Випасняк, О. Є. Шевчук, М. Я. Бестильний, В. І. Шекета // Матеріали IX міжнар. наук.-техн. конф. «Системний аналіз та інформаційні технології», (Київ, 15–19 травня 2007 р.). – К.: НТУУ “КПІ”, 2007. – С. 170.

84. Випасняк Л.І. Використання коефіцієнтів впевненості при побудові предикатних запитів на основі шаблонів JAVA-JESS / Л.І. Випасняк, В.І. Шекета, М.Я. Бестильний // Матеріали V міжнар. наук.-техн. конф. «Комп'ютерні системи в автоматизації виробничих процесів», (Хмельницький, 17–19 травня 2007 р.). – Хмельницький, 2007. – С. 22.

85. Випасняк Л. І. Інтелектуалізація процедур аналізу даних нафтогазової предметної області засобами інформаційно-пошукових задач на основі обмежень / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, М. Я. Бестильний // Матеріали 12 міжнар. форуму «Радіoeлектроніка і молодь в ХХІ ст.», (Харків, 1–4 квітня 2008 р.). – Харків, 2008. – С. 186.

86. Випасняк Л.І. Концепція задоволення обмежень та правил як інструмент інтелектуального аналізу даних нафтогазової предметної області / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, М. Я. Бестильний, О. Є. Шевчук // Матеріали VIII міжнар. конф. «Інтелектуальний аналіз інформації IAI-2008», (Київ, 14–17 травня 2008 р.). – Київ, 2008. – С. 133.

87. Випасняк Л. І. Використання логічного програмування з обмеженнями для побудови інформаційних інтелектуальних систем нафтогазової предметної області / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, М. Я. Бестильний // Матеріали X міжнар. наук.-техн.

конф. «Системний аналіз та інформаційні технології», (Київ, 20–24 травня 2008 р.). – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – С. 339.

88. Випасняк Л. І. Імплементация CSP-концепцій для інтелектуального аналізу даних нафтогазової предметної області / Л. І. Випасняк, Б. І. Шпакодрай, В. І. Шекета // Матеріали VI міжнар. наук.-практ. конф. з програмування «УкрПрограмування-2008», (Київ, 27–29 травня 2008 р.). – К.: Кібернетичний центр НАНУ, 2008. – С. 355–360.

89. Випасняк Л. І. Моделювання інформаційно-пошукових задач на основі обмежень засобами графових інтерпретацій та предикатних схем / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, Б. Я. Бестильний // Матеріали Міжнар. конф. по математичному моделюванню МКММ-2008, (Феодосія, 15–20 вересня 2008 р.). – Феодосія, 2008. – С. 114–118.

90. Випасняк Л. І. Категорійна інтерпретація інформаційно-пошукових задач на основі обмежень та правил / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, М. Я. Бестильний, О.Є.Шевчук // Матеріали XV міжнар. конф. з автоматичного управління, (Одеса, 23–26 вересня 2008 р.). – Одеса, 2008. – С. 29–32.

91. Випасняк Л. І. Побудова інтерпретації інформаційно-пошукових задач на основі обмежень та правил / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета // Матеріали IX міжнар. конф. «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2008), (Вінниця, 21–24 жовтня 2008 р.). – Вінниця, 2008. – С. 15.

92. Вовк Р. Б. Інтелектуальна тьюторна система на основі бази знань обмежень з мітками / Р. Б. Вовк, В. І. Шекета // Матеріали III міжнар. конф. молодих вчених «CSE-2009», (Львів, 14–16 травня 2009 р.). – Львів, 2009. – С. 45–48.

93. Вовк Р. Б. Формалізоване представлення моделі тьюторної системи на основі концепції задоволення обмежень / Р. Б. Вовк, В. І. Шекета // Матеріали IX міжнар. конф. «Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2009», (Київ, 19–22 травня 2009 р.). – Київ, 2009. – С. 48–54.

94. Застосування інтелімедійних інформаційних технологій в навчальному процесі / В. Д. Мельник, В. І. Шекета, Ю. Л. Романишин, О. Б. Гургула // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології та комп'ютерне моделювання», (Івано-Франківськ-Яремче, 23–28 травня 2016 р.). – Івано-Франківськ, 2016. – С. 62–64.

95. Шекета В. І. Управління процесом інтерпретації інформації про нафтогазові об'єкти на основі нечітких моделей / В. І. Шекета, М. М. Демчина, Л. М. Гобир // Матеріали XII міжнар. наук.-практ. конф. «Математичне та імітаційне моделювання систем», (Чернігів-Жукин, 25–28 червня 2012 р.). – Чернігів, 2012. – С. 43–46.

96. Демчина М. М. Формальна методика прийняття оптимальних рішень в процесі буріння / М. М. Демчина, В. І. Шекета, Ю. Л. Романишин // Матеріали міжнар. наук.-техн. конф. «Штучний інтелект. Інтелектуальні системи ШІ-2013», (с.м.т. Кацивелі, АР Крим, 23–27 вересня 2013 р.). – Донецьк: ІПШ «Наука і освіта», 2013. – С. 162–165.

97. The Formal Structuring of Subject Domain for oil and Gas Industry IT Applications / M. S. Chesanovsky, V. I. Sheketa, V. M. Yurchyshyn, T. R. Styslo // XIII International Theoretical and Practical Conference «Modern problems of radio

engineering, telecommunications, and computer science (TCSET'2016)», (Lviv-Slavske, 23–26 february, 2016). – Lviv, 2016. – P. 503–505. (Індексується в Scopus, Web of Science, IEEE Xplore Digital Library).

98. The Formally Stated Model for Technological Process Operator Queries Interpretation / V. I. Sheketa, M. M. Demchyna, R. B. Vovk, Y. L. Romanyshyn // XIII International Theoretical and Practical Conference «Modern problems of radio engineering, telecommunications, and computer science (TCSET'2016)», (Lviv-Slavske, 23–26 february 2016). – Lviv, 2016. – P. 476–479. (Індексується в Scopus, Web of Science, IEEE Xplore Digital Library).

99. The Construction of Technological Problems Cases for the Purpose of Intelligible Control / V. I. Sheketa, V. D. Melnyk, Y. L. Romanyshyn, M. S. Chesanovsky // XIIth International Conference «Perspective technologies and methods in MEMS design (MemsTech'2016)», (Lviv-Polyana, 20–24 th April 2016). – Lviv, 2016. – P. 96–99. (Індексується в Scopus, Web of Science, IEEE Xplore Digital Library).

## АНОТАЦІЯ

**Шекета В.І. Методологія моделювання підтримки прийняття рішень у знання-орієнтованих інформаційних технологіях керування бурінням.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Інститут проблем математичних машин і систем Національної академії наук України, Київ, 2017.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми побудови інформаційних моделей підтримки прийняття рішень у процесі буріння нафтових і газових свердловин засобами знання-орієнтованих систем шляхом модифікації наборів значень керованих змінних технологічного процесу на основі формалізованого експертного досвіду, представленого в базах знань.

Запропоновано формально-логічні категоризовані інформаційні моделі інтерпретації запитів оператора технологічного процесу буріння, методології, методи та алгоритми функціонування процесу підтримки прийняття рішень, що ґрунтуються на базах знань, із входженнями кейсів на основі обмежень.

Основні результати роботи впроваджені у вигляді відповідних методологій, що складають основу інтелектуальних процедур підтримки прийняття рішень при керуванні технологічним процесом буріння нафтогазових свердловин на провідних підприємствах України з видобутку вуглеводнів.

**Ключові слова:** технологічні параметри, представлення та задоволення обмежень, домен керованих змінних технологічного процесу, лінійне уточнення, абстрактні алгоритми, експертний досвід, інтелектуальна підтримка прийняття рішень, знання-орієнтовані системи, бази знань, кейси, семантика, коефіцієнти впевненості, невизначеність.



## АННОТАЦИЯ

**Шекета В.И. Методология моделирования поддержки принятия решений в знание-ориентированных информационных технологиях управления бурением.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Институт проблем математических машин и систем Национальной академии наук Украины, Киев, 2017.

Диссертация является завершенной научной работой, в которой на основе проведенных теоретических и прикладных исследований решена важная научно - техническая проблема построения информационных моделей поддержки принятия решений в процессе бурения нефтяных и газовых скважин посредством знание-ориентированных систем путем модификации наборов значений управляемых переменных технологического процесса на основе формализованного экспертного опыта, представленного в базах знаний.

Проанализированы методы и средства бурения в реальном времени и поддержки принятия релевантных решений, что позволило выделить особенности принятия решений относительно условий и режимов бурения путем структуризации анализируемых буровых данных и оценки факторов, влияющих на контролируемые параметры процесса бурения.

Построено графовую структуризацию процесса принятия решений при бурении скважин на основе предикатных конструкций, что позволило ввести формализацию предикатных средств обработки запросов оператора технологического процесса и выполнить моделирование процесса интерпретации таких запросов посредством информационно-поисковых задач на основе ограничений, что, в свою очередь, сделало возможным применение оптимизационных техник на множестве формальных конструкций запросов оператора по модификации управляемых переменных технологического процесса.

Впервые предложено информационную формально-логическую модель интерпретации запросов оператора технологического процесса бурения на основе семантической интерпретации управляемых переменных, что определило семантическую основу для интерпретации запросов оператора относительно установления значений управляемых переменных для достижения максимальной эффективности технологического процесса.

Обоснована последовательность семантической интерпретации запросов оператора технологического процесса на основе баз знаний экспертного опыта управления процессом, что позволило интерпретировать запросы с использованием коэффициентов уверенности, что соответствует реальным условиям ведения процесса бурения в условиях неопределенности.

Выполнены построение и исследование домена управляемых переменных технологического процесса бурения нефтяных и газовых скважин путем введения формальных представлений механизма абстрактной интерпретации с использованием классических семантик абстрактной компиляции множества

переменных, что обеспечило основу для выполнения анализа свойств управляемых переменных на множестве абстрагированных типов переменных, описывающих технологический процесс.

Впервые построены абстрактные алгоритмы для выполнения линейного уточнения выделенного домена управляемых переменных технологического процесса, что обеспечило эффективный механизм повышения точности представления значений управляемых переменных путем применения редукционной процедуры линейного уточнения и построения представлений на основе сравнительного анализа последовательно уточняемых доменов управляемых переменных.

Предложен подход к описанию сверхограниченных систем ограничений путем спецификации ограничений по отношению к их иерархическому положению или установленных предпочтений, что позволяет соответствующую декларативную спецификацию не только ограничений, которые должны быть выдержаны, но также и применение для случая мягких ограничений на явно заданном, но тем не менее конечном количестве измерений иерархии их состояний (положения, влияния). Таким образом, в данном контексте ослабление влияния ограничений помогает в поиске решения для непрерывного случая недоограниченной системы ограничений. Важным также является то, что иерархический способ упорядочивания позволяет слабым ограничениям влиять на результаты поиска решения.

Представленное применение иерархии ограничений может определяться также и фактором применения в данном случае релевантных компараторов. В иерархиях ограничений представлены, в том числе и ограничения с метками, где в качестве меток используются значения силы влияния ограничений или их предпочтения по соответствию решению для иерархии ограничений, что состоит из инстанций для переменных, позволяющих удовлетворение ограничений с учетом структуры иерархии в каждом частном случае. Базовые компоненты проблем представляются, соответственно, в терминах ограничений, что делает возможным формулирование проблемы в виде определенного набора ограничений, организуемых механизмами правил типа «условие релевантности-условие удовлетворения» и их формализмами.

Впервые введено категорийную интерпретацию выделенного метода интеллектуальной поддержки принятия решений в процессе бурения путем применения категорийной семантики как основы поддержки процесса интерпретации запросов оператора технологического процесса в знание-ориентированной системе, что позволило выполнить моделирование управляемых переменных на основе конструкций моноидных структур.

Результаты исследования приняты к внедрению на ведущих предприятиях нефтегазовой отрасли Украины.

**Ключевые слова:** технологические параметры, представление и удовлетворение ограничений, домен управляемых переменных технологического процесса, линейное уточнение, абстрактные алгоритмы, экспертный опыт, интеллектуальная поддержка принятия решений, знание-ориентированные системы, базы знаний, кейсы, семантика, коэффициенты уверенности, неопределенность.

**ABSTRACT**

**Sheketa V.I. The methodology of decision support modeling in knowledge-based information technologies for drilling control . – Manuscript.**

Thesis for achievement of doctor's degree in technical science in speciality 05.13.06 – information technologies. – Institute of Mathematical Machines and Systems Problems of National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2017.

The thesis is devoted to the solving of actual scientific and applied problem of constructing of the formal logical information models for decisions support in the knowledge-based systems environment by drilling of oil and gas wells using the proposed methodology of modifying the sets of values of controlled variables in the process run based on the formalized expertise presented in knowledge bases.

A formal-logical categorized information models for interpretation of user queries in the process of drilling and suitable algorithms of functioning routines for decision support based on the knowledge base of cases with constraints were developed and implemented.

The main research results were introduced in the form of appropriate techniques that form the basis of intelligent procedures for decision support in the process of wells drilling control on the leading enterprises of oil and gas industry of Ukraine.

**Keywords:** technological parameters, constraints satisfaction, domain-driven process variables, linear specification, abstract algorithms, expertise, intelligent decision support, knowledge-based systems, knowledge base, case's, semantics, confidence factors, uncertainty.

