

681.518:622.24
931

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НФТИ І ГАЗУ

ДЕМЧИНА МИКОЛА МИКОЛАЙОВИЧ



+622.24+004,
УДК 681.518:622.248:004.89
931 1043

СИСТЕМА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ
ВИБОРІ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМНИХ ПАРАМЕТРІВ БУРІННЯ
НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2013

Дисертацією є рукопис



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

Науковий керівник:

кандидат технічних наук, доцент
Шекета Василь Іванович
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
доцент кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Алексєєв Михайло Олександрович
Державний вищий навчальний заклад:
«Національний гірничий університет»,
завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем

кандидат технічних наук, доцент
Савків Володимир Богданович
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, доцент кафедри автоматизації технологічних процесів і виробництв

Захист відбудеться «27» вересня 2013 р. о 14⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий «15» серпня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03,
кандидат технічних наук, професор

М.М. Дранчук



АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

ми. Автоматизовані системи керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин здійснюють реалізацію впливів на об'єкт керування в реальному часі. Однією з найбільш важливих складових даних систем є вироблення рішень з керування в умовах складності, невизначеності та нестационарності технологічного процесу буріння з точки зору забезпечення їх оптимальності та ефективності, що в свою чергу є визначальним фактором щодо часу та вартості буріння окремих свердловин, розробки родовищ та нафтогазоносних районів тощо. Основним завданням з точки зору прийняття ефективних та оптимальних рішень, опираючись на функціональність комплексних систем автоматизованого керування технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин з розвинутими програмно-апаратними функціями, є контроль основних показників технологічного процесу, в тому числі шляхом введення відповідних цільових функцій.

У даний час при бурінні в нафтогазопромислових районах України прийняття рішень в значній мірі здійснюється самими операторами-бурильниками в більшості випадків на інтуїтивному рівні, базуючись на власному досвіді та професійних навичках, що не завжди відповідає фактичному рівню складності, невизначеності та нечіткості, що характеризує процес буріння в цілому.

Враховуючи особливості процесу буріння нафтових і газових свердловин та необхідність прийняття ефективних і оптимальних технологічних рішень, побудова систем інтелектуальної підтримки прийняття керуючих рішень, орієнтованих на досягнення оптимальності та максимальної ефективності технологічного процесу, є актуальною науково-практичною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрям досліджень є складовою частиною тематичного плану кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Тематика роботи є частиною планових науково-дослідних робіт із розвитку нафтогазового комплексу України та 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 08.09.2008р.); «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (номер державної реєстрації 0111U005890).

У вищеназваних темах НДР автор був безпосереднім виконавцем робіт щодо розробки формальних моделей інтелектуальних методів системи підтримки прийняття ефективних та оптимальних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є розроблення методу та системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин.

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

– аналіз особливостей інтелектуалізації процедур прийняття оптимізаційних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин, аналіз застосувань експертних систем в бурінні нафтових і газових свердловин, аналіз видів та способів вибору оптимальних режимних параметрів;

– формалізація постановки задачі моделювання інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі режимних параметрів буріння на основі побудови абдуктивного фреймворку з ваговими коефіцієнтами;

- обґрунтування та дослідження технології інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі режимних параметрів буріння в формі правил в умовах невизначеності;
- побудова формальної структури функціонування системи підтримки прийняття рішень при виборі режимних параметрів буріння, шляхом виділення множин керованих, некерованих, збурюючих та вихідних технологічних параметрів;
- розробка формального механізму прийняття оптимальних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин на основі оперування з цільовими функціями обчислення доцільності вихідних технологічних параметрів;
- реалізація системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів в процесі буріння нафтових і газових свердловин;
- розробка методики інтелектуальної підтримки прийняття рішень щодо вибору оптимальних режимних параметрів буріння на основі цільових функцій і промислової апробації результатів дослідження.

Об'єктом дослідження є нестационарний технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин, який супроводжується необхідністю прийняття ефективних та оптимальних рішень в умовах невизначеності.

Предметом дослідження є системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин на основі цільових функцій обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів в умовах невизначеності.

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 (для визначення сутності ефективності та оптимальності рішень); формально-логічних досліджень із використанням базового апарату на основі предикатної логіки; методів теорії множин (для моделювання функціональності складових системи); методів нечітких множин і теорії ймовірності; методів математичної статистики (для оцінки характеристик рішень, що приймаються).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розвитку та поглибленні методологічних підходів щодо вибору оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин шляхом введення цільових функцій обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів та визначається наступними науковими результатами:

вперше:

- представлено формальну модель процесу інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин, в основу якої покладено абдуктивний фреймворк знань про режими буріння, в якому виражені в формі чітких, нечітких та ймовірнісних правил розподілу значень керованих змінних технологічного процесу;

- обґрунтовано технологію інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння на основі знань експертів технологічного процесу, які представлені в базах знань в формі чітких, нечітких та ймовірнісних правил, що дозволяє оперувати з множинами вихідних технологічних параметрів та їх доцільностями;

- побудовано формальну оптимізаційну модель, яка зводиться до оптимізації цільових функцій, що описують множини керованих та вихідних технологічних параметрів в процесі інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння шляхом оптимізації значень керованих параметрів;

– створено формальний механізм оперування з цільовими функціями обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів як основи інтелектуальної підтримки прийняття рішень при встановленні значень керованих параметрів процесу буріння при виборі оптимальних режимних параметрів, що дозволяє поєднувати невизначеності та доцільності в процесі побудови оптимального рішення з максимальною очікуваною доцільністю;

отримали подальший розвиток методи інтелектуалізації прийняття оптимізаційних рішень та систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень в процесі буріння, підходи до побудови комплексних критеріїв оптимізації в процесі буріння, підходи до вибору оптимальних режимних параметрів процесу буріння на основі нових способів оцінки та контролю вихідних технологічних параметрів.

Практичне значення отриманих результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені моделі, методи та методики, а також алгоритмічне та програмне забезпечення, побудоване на їх основі, дають змогу вирішувати задачі прийняття ефективних та оптимальних рішень в процесі буріння, що відповідно підтвердило свою ефективність під час тестування отриманої системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень на фактичних даних Охтирського та Прикарпатського УБР ПАТ «Укрнафта» періоду 2008-2011 років.

Розроблена система та рекомендації з її використання, прийняті до впровадження відділом АСУ ТП підприємства «МІКРОЛ» як прототип модуля візуалізації процесу підтримки прийняття ефективних та оптимальних технологічних рішень на основі цільових функцій у SCADA-системах (акт від 15.02.2013 р.) і ПАТ «Укрнафта» (акт від 13.03.2013 р.). Результати досліджень упроваджені в навчальний процес кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем ІФНТУНГ (акт від 15.03.2013 р.) для студентів напряму підготовки 6.050103 – Програма інженерія в дисципліні «Методологічні основи наукових досліджень в нафтогазовій галузі» та спеціальності 8.05010301 – Програмне забезпечення систем у дисципліні «Математичні методи аналізу алгоритмів».

Особистий внесок здобувача. Основні положення та результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, одержані автором особисто. У роботах, написаних у співавторстві, дисертанту належать: у роботі [1] – спосіб інтелектуалізації процедур контролю знань; [2] – ідея інтерпретації даних та знань в формі документів в інтелектуальних системах; [3] – методологія інтерпретації даних та знань про нафтогазові об'єкти; [4] – представлення структури баз даних і баз знань в інтелектуальних системах; [5] – структура моделі нафтогазової предметної області на основі фреймowo-продукційного підходу; [6] – структура та опис процесів інтелектуалізації керування на основі нечітких знань про нафтогазові об'єкти; [9] – методика представлення характеристик знань в формі баз знань; [10] – методологія застосування експертних систем в області контролю знань; [11] – інтерпретація механізму модифікації запитів до структури дистанційного навчання; [12] – опис особливостей фреймowo-підходу до побудови інтелектуальних методів контролю знань; [15] – методологія структуризації параметрів; [16] – методологія розподілу обмежень по фізичних параметрах технологічного процесу; [17] – визначення складових процесу інтелектуальної обробки даних про нафтогазові об'єкти та побудова їх релевантних описів; [18] – введення підходу класифікації нафтогазових об'єктів на основі шаблонів правил; [19] – представлення структури управління процесом інтерпретації нафтогазових об'єктів на основі нечітких моделей; [20] – визначення описів нечітких методів та моделей управління в інтелектуальних системах нафтогазової предметної області; [22] – опис структури інтелектуального програмного забезпечення контролю знань.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на: XVI всеукраїнській науковій конференції «Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики СППМІ-2009» (Львів, 2009 р.); IV міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT-2009» (Львів, 2009 р.); VI міжнародній конференції «Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем» (Київ, 2009 р.); X міжнародній конференції «TCSET-2010» (Львів-Славське, 2010 р.); I міжнародній науково-технічній конференції «Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи) CI-2011» (Черкаси, 2011 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Системний аналіз та інформаційні технології SAIT-2011» (Київ, 2011 р.); III науково-практичній конференції студентів і молодих учених «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (Івано-Франківськ, 2011 р.); VI міжнародній науково-технічній конференції і виставці «Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазпромислового обладнання» (Івано-Франківськ, 2011 р.); I міжнародній науковій конференції «Інформація, комунікація, суспільство ICS-2012» (Львів, 2012 р.); XII міжнародній науковій конференції ім. Т.А. Таран «Інтелектуальний аналіз інформації IAI-2012» (Київ, 2012 р.); XII міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та імітаційне моделювання систем МОДС-2012» (Чернігів-Жукин, 2012 р.); XI міжнародній конференції «Контроль і управління в складних системах КУСС-2012» (Вінниця, 2012 р.); X ювілейній міжнародній науково-практичній конференції «Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем» (Дніпропетровськ, 2012 р.).

Публікації. Основні результати дисертації викладені у 22 публікаціях: 8 статтях (із них 2 одноосібні) у фахових виданнях та 14 публікаціях (із них 3 одноосібні) у збірниках праць Міжнародних та Всеукраїнських науково-технічних і науково-методичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 238 сторінок, із них 171 сторінка основного тексту, що включає 49 рисунків і 6 таблиць. Список використаних джерел налічує 163 найменування на 16 сторінках, 8 додатків на 51 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи для нафтогазового комплексу України, сформульовано мету та задачі дослідження, наведено відомості щодо наукової новизни та практичного значення отриманих результатів для інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин на основі цільових функцій обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів, наведено відомості про апробацію та впровадження результатів роботи.

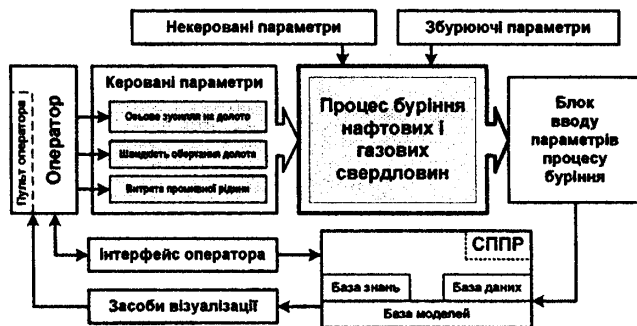
У *першому розділі* проведено аналіз сучасного стану досліджуваної проблеми, описано особливості інтелектуалізації процедур прийняття оптимізаційних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин, проаналізовано класичні та новітні вітчизняні і зарубіжні розробки в області інтелектуальних систем, що застосовуються в процесі буріння і визначено особливості рішення в них задач оптимізації.

Проблемам оптимізації процесу буріння нафтових і газових свердловин присвячено теоретичні та прикладні дослідження таких вітчизняних та зарубіжних вчених як Г. Н. Семенцов, М. І. Горбійчук, М. А. Мислюк, А. І. Волобуєв, В. Б. Кропивницька,

А. А. Погарський, Р. М. Ейгелес, Е. А. Козловський, Г. Д. Бревдо, Н. Б. Ситніков, Ю. А. Пешалов, Ю. Ф. Алексеев, А. І. Співак, В. А. Бражников, В. К. Маурер (США), І. М. Галлі (США), Г. Б. Вудс (США), А. Т. Боургойн (США), Ф. С. Йоунг (США) та ін. Результати даних досліджень дозволяють розглядати процес вибору оптимальних режимних параметрів буріння як вибір кращого значення змінної з групи наборів даних, що на практиці зводиться до мінімізації або максимізації певної цільової функції. Проте, як показує промисловий досвід, зниження вартості буріння свердловин на основі застосування оптимізаційних технік можливе тільки у випадку нагромадження статистичних даних про процес буріння з попередніх свердловин із схожими техніко-економічними показниками.

Природа параметрів буріння є не до кінця дослідженою і комплексною, що не дозволяє побудову ефективних моделей і навпаки – існуючі математичні моделі дозволяють поєднувати тільки відомі можливі співвідношення параметрів буріння. Такі моделі дозволяють оптимізацію режимних параметрів буріння шляхом вибору найкращих значень керування параметрів з метою мінімізації вартості процесу буріння.

На сьогоднішній день існує ряд комп'ютеризованих та автоматизованих систем, в тому числі інтелектуальних, які здатні забезпечувати підтримку прийняття керуючих технологічних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин (рис. 1).



Обробка даних, отриманих з бурової може виконуватися в двох режимах: 1) в режимі статистичних вибірок із застосуванням статистичних методів, вибір яких безпосередньо буде впливати на якість обробки; 2) в режимі безпосереднього отримання сирих даних з бурової площадки, якість яких напряму буде впливати на процес оптимізації.

Проведений аналіз дає підстави стверджувати, що сучасний стан теорії та практики оптимізації процесу буріння та створення систем інтелектуальної підтримки прийняття рішень (СППР) при оптимізації процесу буріння нафтових і газових свердловин дозволяє визначити ряд недоліків, які не дають можливості застосовувати такі системи максимально ефективно. До таких недоліків слід віднести:

- недостатній розвиток базової теорії отримання та представлення знань про процес буріння нафтових і газових свердловин в системах інтелектуальної підтримки прийняття рішень;

- обмежена функціональність існуючих інтелектуальних систем, які в основному базуються на використанні статистичних даних щодо відробки бурових доліт в подібних умовах, а також можливих адаптивних алгоритмів, які використовують поточні дані щодо умов буріння, в той же час не використовуючи ймовірнісні та можливісні оцінки вихідних параметрів в корегуючому контурі впливу на керуванні змінні процесу буріння, що суттєво знижує адаптивність керування, що базується на експертному досвіді фахівців буріння, а також не дозволяє в повній мірі моделювати процес навчання персоналу технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин.

Виконаний аналіз дозволив обґрунтувати вибір напряму дослідження дисертаційної роботи.

Другий розділ роботи присвячено формалізації процесу видобування даних та знань для підтримки прийняття рішень при виборі режимних параметрів буріння.

Структуризовано процедури *обробки та видобування даних про процес буріння* в формі семантичних моделей режимів буріння: $KB^{Set} = \langle SDT^{Set}, SDR^{Set}, Rules^{Set} \rangle$, де: KB – бази знань про «режим буріння»; SDT – задачі предметної області (рис. 2) такі як: максимізація рейсової швидкості проходки, максимізація проходки на долото, мінімізація вартості проходки метра свердловини; SDR – ресурси предметної області у вигляді множини правил *Rules*.

Логічне представлення знань про «режими буріння», виражається кортежем: $LKP = \langle BS^{Set}, (F : bs \in BS^{Set} \rightarrow Statements^{Set})^{Set}, TF, FR \rangle$, де: BS – лінгвістичні змінні;

F – правила; *Statements* – твердження про режими буріння; TF, FR – формули та відношення.

База знань про режими буріння на основі предикатів представляється у вигляді: $KB = \langle A, SR^{Set}, TF^{Set}, IR^{Set} \rangle$, де: A – алфавіт; SR – правила; TF – формули; IR – правила висновку.

Знання, що базуються на семантичній мережі представляються кортежем: $K^S = \langle VS, A^{VS}, AVS, RTS, PS[VS] \rangle$, де: K^S – множина знань; VS – вершини графа; A^{VS} – атрибути приписані вершинам; AVS – значення атрибутів; RTS – типи зв'язків; $PS[VS]$ – проєкції для вершин по видах зв'язків.

Рисунок 2 – Виділення структури задач обробки даних процесу буріння нафтових і газових свердловин

атрибути приписані вершинам; AVS – значення атрибутів; RTS – типи зв'язків; $PS[VS]$ – проєкції для вершин по видах зв'язків.

Представлено *засоби класифікації даних про процес буріння в формі правил*, що використовуються як основа керування механізмом прийняття рішень. Введено розширення функціональності проектованої інтелектуальної системи шляхом переходу від початкових правил виду «якщо < умова > тоді < дія >» до правил виду:

якщо $\langle rc \in RC \rangle \Rightarrow \langle \text{умова релевантності} \rangle$
тоді $\langle sc \in SC \rangle \Rightarrow \langle \text{умова задоволення} \rangle$

Суть подальшого розширення функціональності системи полягає в розгляді початкового правила при умові нечіткості складової SC :

$SC \models \text{fuzzy} \mid RC \models \text{crispy}$, або $SC \models \text{fuzzy} \mid RC \models \text{fuzzy}$.

В області систем на основі правил, що використовуються в нафтогазовій предметній області можна виділити три основних класи реалізацій:

1. Інтелектуальні системи на основі чітких правил з можливим включенням значень типу «невизначено / unknown»:

$$\left[\begin{array}{l} R_i^{\text{unknown}} : \text{якщо} [\text{умова}^1 = \{ \text{лог.}, \text{числ.}, \text{категор.} \}]^{\text{yes/noi}} \\ \quad [i / \text{або}] [\dots] \text{тоді} [\text{висновок}^1 = \{ \text{advice}, \text{assign}, \text{call} \}] \\ \dots \dots \dots \\ R_n^{\text{unknown}} : \text{якщо} [\text{unknown_умова}_i] [i / \text{або}] [\dots] \text{тоді} \langle \text{RulesSubSet_умова}_m \rangle \end{array} \right.$$

2. Інтелектуальні системи на основі правил з невизначеністю (коефіцієнтом впевненості (CF) в істинності):

$$R_i^{uncert} : \text{якщо } \langle \text{умова}^i _ CF_j^{con} \rangle [i / \text{або}] \langle \text{умова}^{i+1} _ CF_{j+1}^{con} \rangle \text{ тоді } \langle \text{висновок}^i _ CF_j^{cl} \rangle.$$

3. Інтелектуальні системи на основі множини правил в стандарті нечітких правил (*Fuzzy Rules*):

$$R_i^{fuzzy} : \text{якщо } \langle \text{умова}^i _ Iv_j^{in} \rangle [i / \text{або}] \langle \text{умова}^{i+1} _ Iv_{j+1}^{in} \rangle \text{ тоді } \langle \text{висновок}^i _ Iv_j^{out} \rangle : CF_j,$$

де: CF_j – вагові коефіцієнти Iv_j – лінгвістичні змінні, що можуть бути присутні як в умовах так і у висновках та інтерпретуються як вхідні Iv_j^{in} , та вихідні Iv_j^{out} лінгвістичні значення.

Задача класифікації бурових даних зводиться до присвоєння класу $Class_j$, з наперед визначеної множини класів $Class^{Set}$, певному об'єкту, що описується як точка в визначеному просторі станів технологічного процесу: $X \in Space^N$. Задача побудови класифікатора бурових даних полягає в знаходженні відображення: $Clf : Space^N \rightarrow Class^{Set}$, що є оптимальним з точки зору деякого оціночного критерію $ev(Cl f)$, що визначає ефективність роботи класифікатора на масивах бурових даних, отриманих з схожих свердловин, родовищ та нафтогазоносних районів.

Основним елементом системи у випадку нечіткої класифікації є множина нечітких правил. Розглянемо основні типи нечітких правил, що використовуються для побудови бази знань процесу буріння в загальному випадку:

1. Нечіткі правила з класом в консеквенті, що задаються структурою:

$$R_i : \text{якщо } [rc_1 \in RC_1^i] \wedge \dots \wedge [rc_n \in RC_n^i] \text{ тоді } SC \in Class_j,$$

де: rc_1, \dots, rc_n – виділені особливості класифікаційної проблеми (в термінах умов релевантності); RC_1^i, \dots, RC_n^i – лінгвістичні мітки, що використовуються для дискретизації доменів змінних; SC – клас $Class_j$, до якого належить шаблон.

2. Нечіткі правила з класом і коефіцієнтом впевненості в консеквенті представляються формально структурою:

$$R_i : \text{якщо } [rc_1 \in RC_1^i] \wedge \dots \wedge [rc_n \in RC_n^i] \text{ тоді } [SC \in Class_j] : CF_i,$$

де CF_i – коефіцієнт впевненості для класифікації в класі $Class_j$ для шаблону, що належить до нечіткого підпростору, який обмежується антецедентом.

3. Нечіткі правила з коефіцієнтом впевненості для всіх класів в консеквенті представляються формально структурою виду:

$$R_i : \text{якщо } [rc_1 \in RC_1^i] \wedge \dots \wedge [rc_n \in RC_n^i] \text{ тоді } (CF_1^i, \dots, CF_m^i),$$

де CF_k^i , $1 \leq k \leq m$ – ступінь верифікованості для i -того правила при передбаченні класу $Class_j$ для шаблону, що належить до нечіткої області, яка представляється антецедентом правила.

Розширено базовий спосіб введеної класифікації даних про процес буріння до рівня режимів буріння із застосуванням ймовірнісних правил виду:

$$RC \xrightarrow{pb} SC.$$

Побудовано абдуктивний фреймворк прийняття рішень при виборі значень режимних параметрів буріння у вигляді триплету $\langle LP, BS, LF^{con} \rangle$, що складається з

логічної програми LP , множини базових виводимих атомів BS і множини логічних формул LF^{Con} , що розглядаються як обмеження цілісності.

Специфіка предметної області вимагала введення вагових коефіцієнтів, що дало змогу отримати кінцеву модель виду:

$$AF^{CF} = \langle Hyp^{Set}, Rule^{Set}, f, G \rangle,$$

де: Hyp^{Set} – множина гіпотез; $Rule^{Set}$ – множина класифікаційних правил; G – ціль;
 $f: Hyp^{Set} \rightarrow [Rule^{Set}]^+$.

Виконано застосування абдуктивного підходу до класифікації даних про *режими буріння* з отриманням дерева рішень Sol^T , що дозволяє виконати асоціювання логічної програми LP_{Sol^T} виду: $LP_{Sol^T} = \{Rule_{path}^{Set} \mid path\}$, де $path$ є шляхом в Sol^T .

В кінцевому підсумку отримується абдуктивний фреймворк виду:

$$AF_{Sol^T} = \langle LP_{Sol^T}, BS, Con_{Sol^T}^{Int} \rangle,$$

де: BS – множина імен атрибутів; $Con_{Sol^T}^{Int}$ – множина канонічних обмежень цілісності асоційованих з Sol^T .

У *третьому розділі* викладено результати моделювання та структуризації процесів підтримки прийняття рішень при виборі режимних параметрів буріння.

Представлено структуру керування процесом *підтримки прийняття рішень* засобами інтелектуальної системи на основі *нечіткої логіки*. В початковій версії системи розглядаються два вхідних значення і одне вихідне значення, що оперується правилами нечіткого керування виду:

$$\begin{cases} R_1: \text{якщо } rc^1 \in RC_1^1 \text{ і } rc^2 \in RC_1^2 \text{ тоді } sc \in SC_1 \\ \dots \\ R_n: \text{якщо } rc^1 \in RC_n^1 \text{ і } rc^2 \in RC_n^2 \text{ тоді } sc \in SC_n \end{cases},$$

де: rc^1, rc^2, sc – лінгвістичні змінні, що відповідають станам процесу при одній заданій змінній, що приймає команди керування; RC_i^1, RC_i^2, SC_i – лінгвістичні значення змінних rc^1, rc^2, sc в універсумах O^1, O^2 і O^3 відповідно, для $i=1, 2, \dots, n$ і при неявному способі зв'язування правил в деяку множину правил $RulesSet$ або пізніше, в кінцевому підсумку в еквівалентну базу правил $RulesBase$.

В найпростішому випадку колекція нечітких правил керування має вид:

$$R_i: \text{якщо } rc \in RC_i \text{ тоді } sc \in SC_i, i=1..n.$$

Якщо вхідне значення $rc \in RC_i$ то ми можемо очікувати, що керуюча дія $sc \in SC_i$.

Правила в питаннях є похідними від досвіду досвідченого оператора технологічного процесу. Такі правила розглядаються, як правила нечіткого керування для оцінювання об'єктів. Типове правило даного класу описується як:

$$R_i: \text{якщо } ((rc^1 \in RC_i^1 \text{ і } rc^2 \in RC_i^2) \vdash [cc_i \in SC_i]) \text{ тоді } cc_i \in SC_i, i=1..n.$$

де cc_i – команда керування, яка є виводимою з цільового значення оцінювання результатів нечіткого керування, що задовольняє очікувані стани і цілі, що в свою чергу потребуватиме ідентифікації правил нечіткого керування виду:

$$R_i: \text{якщо } rc^1 \in RC_i^1 \text{ і } rc^2 \in RC_i^2 \text{ тоді } sc \in f_i(sc^1, sc^2), i=1..n.$$

Реалізовано формальний метод *інтелектуального керування* підтримкою прийняття рішень щодо вибору значень *режимних параметрів* на основі нечітких знань. База нечітких правил зображається входженнями виду:

$$R_i^{fuzzy}: \text{якщо } x_1' = Iv_1^{In} \in fSet_1' \dots \text{ і } \dots x_n' = Iv_n^{In} \in fSet_n' \text{ тоді } y = Iv^{Out} \in fSet',$$

де: $x'_k = Iv_k^{in}$, – вхідні змінні; $y = Iv^{out}$ – вихідна змінна; $fSet'_k$, – задані нечіткі множини з відповідними функціями належності; $k = 1..n$, $n \in N$. Таким чином, в результаті нечіткого логічного висновку отримуємо деяке чітке значення $y = Iv^{out}$, базуючись на заданих чітких значеннях $x'_k = Iv_k^{in}$:

$$\{x'_k\}_{k=1..n_1}^{i=1..n_1} \models^{fuzzy} [y = Iv_{crispy}^{out}], \text{ де } n_1, n_2 \in N.$$

Викликає інтерес моделювання засобів нечіткого керування з токи зору експертних знань, в тому числі в формі множини правил з лінгвістичними входженнями. В загальному випадку множина таких правил подається у вигляді:

$$\{ \text{якщо } [Satisf.Conditions_i^{Set}] \text{ тоді } [Deduce.Consequents_j^{Set}] \}_{i,j \in N}.$$

Оскільки $[Satisf.Conditions_i^{Set}] \subset T$, і $[Deduce.Consequents_j^{Set}] \subset T$, де T – базова множина лінгвістичних термів. Розглядаються наступні випадки:

1. Випадок керування на основі множини чітких правил. Сутність керуючих конструкцій на основі правил зводиться до розбиття предметної області на деяку скінченну множину секцій:

$$SubjectDomain = \{ SubjectSection_i \}_{i \in N},$$

кожна з яких відповідає певній стратегії логічного висновку (засобом обчислення керуючого впливу), і всередині кожної секції існує скінченна множина чітких продукційних правил виду:

$$\text{якщо } [Conditions_{i_1}^{Set}] \text{ тоді } [Consequents_{i_2}^{Set}],$$

де $i_1, i_2 \in N$, а антецеденти та консеквенти, утворені на основі чітких логічних тверджень з використанням логічних операцій кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення, а також системних операторів виду *advice* (експертна порада, керуючий вплив), *assign* (присвоєння), *call* (виклик зовнішньої множини правил), *chain* (зв'язування), *do* (виконання).

2. Випадок керування на основі множини правил з коефіцієнтами впевненості. Дозволяє реалізовувати входження знань, ступінь невизначеності яких описується відповідними коефіцієнтами впевненості (*Certainty Factors*, $CF \in [0; 1]$). В загальному випадку множина таких правил може бути описана як:

$$\{ \text{якщо } [Conditions_{i_1}^{Set}] : CF_{i_1}^{Sum} \text{ тоді } [Consequents_{i_2}^{Set}] : CF_{i_2}^{Sum} \}_{i_1, i_2, j_1, j_2 \in N},$$

а входження антецедентів і консеквентів, відповідно подаються як:

$$\begin{aligned} [Conditions_{i_1}^{Set}] : CF_{i_1}^{Sum} &= \{ [\wedge, \vee, \neg] \mid [cond_{i_1}] : CF^{j1} \}_{i_1} \{ advice, assign, call, chain, do \} \\ [Consequents_{i_2}^{Set}] : CF_{i_2}^{Sum} &= \{ [\wedge, \vee, \neg] \mid [consq_{i_2}] : CF^{j2} \}_{i_2} \{ advice, assign, call, chain, do \} \end{aligned}$$

Застосування концепції нечітких правил дозволяє вводити певну множину нечітких станів, що визначають режими буріння (оптимальний, раціональний, форсований, швидкісний, силовий, спеціальний), для яких задаються відповідні керуючі впливи на об'єкт керування. В найпростішому випадку процес керування визначається нечіткими правилами виду:

$$R_i^{fuzzy} : \text{якщо } [x' \in Lv_i^1 \text{ і } y' \in Lv_i^2] \text{ тоді } [z' \in Lv_i^3],$$

де: x' , y' – змінні, що описують стан процесу у випадку припущення про те, що для опису процесу достатньо двох змінних (в нашому випадку – це осьове зусилля на бурове долото

та швидкість обертання бурового долота); z^i – керуюча змінна (в нашому випадку, наприклад, механічна швидкість буріння); Lv_j^i , ($i=1..n$, $n \in N$; $j=1..3$) – значення лінгвістичних змінних.

Для ефективної реалізації нечіткого висновку в даному контексті (тобто при використанні бази знань нечітких правил) необхідно передбачити в системі додаткові процедури для виконання наступних операцій:

1) обчислення узагальненого (агрегованого) результату нечіткого висновку по всій базі нечітких правил *FuzzyKB*:

$$FuzzyInference = Aggr.[SubinferenceChains]_{j=1..n, n \in N}^{FuzzyKB};$$

2) обчислення результату інференції для кожного з правил із множини:

$$Inferenced(FuzzyRule_i) | FuzzyRule_i \in FuzzyKB,$$

де $i=1..n$, $n \in N$ – кількість правил в домені (доменному об'єкті);

3) визначення або обчислення рівня активності кожного з правил:

$$FuzzyRule_i \stackrel{def.}{:=} Scope_j, i=1..n_1, j=1..n_2,$$

де: $n_1 = |FuzzyKB|$ – кількість правил в базі знань; $n_2 = |SubjectDomains|$ або $n_2 = |DomainsObject|$ – кількість доменів в базі знань; $n_1, n_2 \in N$.

Правила нечіткої бази знань *FuzzyKB* мають вигляд:

$$FuzzyRule_i \stackrel{def.}{:=} \text{якщо } [x^i \in Lv_1^i \text{ і } y^i \in Lv_2^i] \text{ тоді } [z^i \in Lv_3^i], i=1..n,$$

і стан змінних, на основі яких формується керуючий вплив, подається як деякий факт:

$$Fact^i := x \in x^i \text{ і } y \in y^i. \text{ Тоді: } (FuzzyRule_i, Fact^i) \stackrel{def.}{=} Conseq. := [z^i \in Lv_3^i].$$

Дані співвідношення задають спосіб виводу вихідного керуючого значення z^i при заданих нечітких станах x^i і y^i та набору нечітких відношень, що зображаються правилами *FuzzyRule_i*. Композиційність даного підходу визначається також шляхом обчислення консеквентна:

$$Conseq. = Aggr. \left(\prod_{i=1..n} [Fact^i, FuzzyRule_i] \right).$$

Проте, результатом висновку на основі бази нечітких правил буде деяка нечітка множина Lv^{Set} , тому необхідним завершальним кроком є виконання процедури дефазифікації для обчислення значення керуючого впливу: $z^{crispy} = Defuzzy(Lv^{Set})$.

Співвідношення обчислення агрегованих значень на основі функцій належності матиме вигляд:

$$Lv^{Set}(lv) = Aggr. \left(\prod_{i=1..n} [Lv_1^i(x^i) \times Lv_2^i(y^i) \rightarrow Lv_3^i(lv^i)] \right),$$

де \times – нормалізована операція наближення кон'юнкції.

Розглядаються кортежі підстановок змінних $rc_i = (tcp_1^i, \dots, tcp_n^i)$, як список керованих змінних (параметрів) технологічного процесу буріння і $sc_i = cntp_i^{ncp}$, як змінні керуючих впливів, що визначаються в процесі ініціалізації керованих змінних технологічного процесу буріння. Введений спосіб подання правил визначає спосіб, в який повинна бути модифікована множина *RC* щоб зображати можливість значень *sc* в *SC* :

$$RuleForm | \text{Modify}(RC) \stackrel{def.}{:=} Close(sc, SC^{core}),$$

де $Close()$ – оператор визначення близькості змінної sc до ядра множини SC .

Представлено спосіб використання *нечітких правил* для подання знань в інтелектуальних системах підтримки прийняття рішень при бурінні нафтових і газових свердловин. В запропонованому підході знання оператора технологічного процесу буріння представляються у вигляді нечітких відношень $RC \xrightarrow{\text{fuzzy}} SC$. Кортежі $\left((tcp'_1, \dots, tcp'_n), cntr_i^{tcp'} \right)$ визначатимуть пари значень (rc_i, sc_i) , що в свою чергу дозволяє формувати множину початкових правил шляхом розширення подання чітких правил з введенням невизначеності у висновках, що дає змогу застосовувати нечіткі консеквенти у процесі наближеного висновку, шляхом оцінки розподілу можливості виду:

$$pd_{sc,rc} \left(cntr_i^{tcp'}, (tcp'_1, \dots, tcp'_n) \right).$$

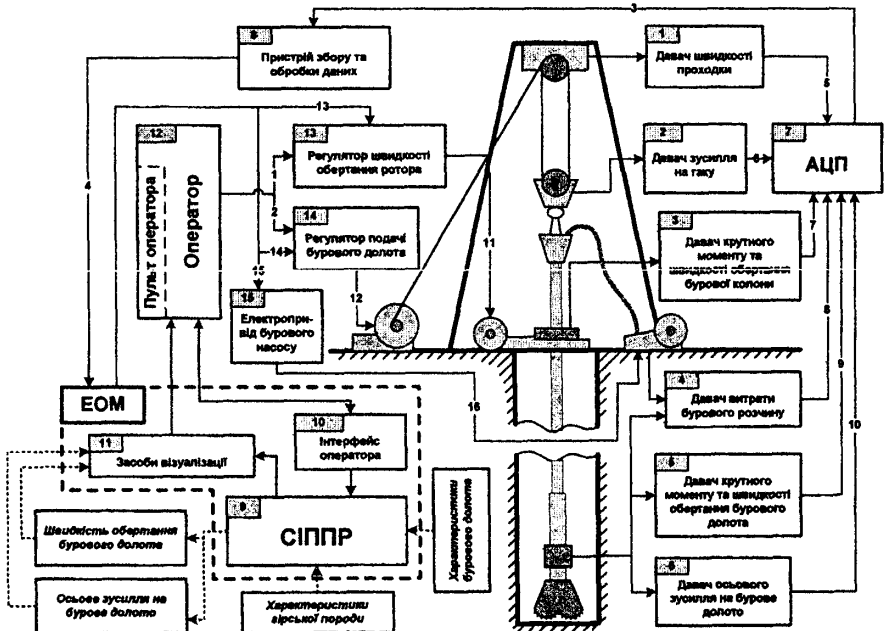
Розподіл можливості в даному випадку полягає у вираженні можливості належності значень sc множині SC при визначеній належності значень rc множині RC .

Виконано *моделювання режимних параметрів* на основі *фреймово-продукційного* підходу. Представлений аналіз дозволив побудувати фреймово-продукційну систему на основі бази знань про режими буріння у вигляді:

$$FPM = \{ Objects^{Set}, Rules^{Set}, Domains^{Set}, Goals^{Set} \},$$

де: $Objects^{Set}$ – множина об'єктів предметної області «режими буріння»; $Rules^{Set}$ – множина правил; $Domains^{Set}$ – множина доменів; $Goals^{Set}$ – множина цілей.

Результати виконаного аналізу *технологічних умов процесу буріння* представлено на рисунку 3.



СИПРР – система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів

Рисунок 3 – Загальна архітектура інтеграції модуля системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень

Представлена архітектура системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень є частиною системи керування процесом буріння із замкнутим контуром, що базується на взаємодії із обладнанням для буріння, включає вимірювання сигналів з вибою свердловини та з її поверхні і передбачає інтелектуальне коректування значень режимних параметрів через засоби керування процесом буріння.

У *четвертому розділі* реалізовано систему інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння на основі цільових функцій обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів.

Виділено особливості застосування *систем підтримки прийняття рішень* в процесі буріння нафтових і газових свердловин в формі баз даних та баз знань про процес буріння, обґрунтовано необхідність створення та використання засобів управління технологічними знаннями та засобів обробки нечітких даних про технологічний процес буріння, а також застосування технік видобування даних та знань в формі засобів класифікації, кластеризації та асоціативних правил.

Приведено оцінку застосовності методів *експертних систем* при побудові інтелектуальної *системи підтримки прийняття рішень* в процесі буріння, що дозволило виділити якнайбільш перспективний напрям побудову саме інтелектуальної системи на основі правил.

Розроблено методику прийняття *оптимальних рішень* в процесі буріння нафтових і газових свердловин на основі *функцій доцільності*.

На рисунку 4 представлено множину подій в формі встановлення значень керуванням змінним tcp_i та множину рішень Sol_i^{Set} в формі виділених присвоєнь, що визначають режими буріння, які характеризуються станами, що представляються класами $Class_i^{Sol_j}$. Таким чином, класи оцінюються по ступеню їх релевантності відповідним станам:

якщо вибрано $Class_i^{Relev}$ **тоді** необхідно внести оновлення в базу знань,
якщо $Class_i^{UnRelev}$ **тоді** залишити без змін

де $i = 1..n, j \in N$.

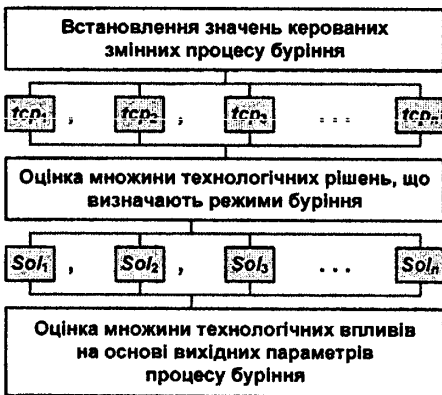


Рисунок 4 – Структура пропонованої методології прийняття рішень в процесі буріння нафтогазових свердловин

Очікувана доцільність визначає бажаність рішення Sol_j для заданого значення j і може бути формалізована у вигляді:

В даному випадку подіями є можливі класи станів технологічного процесу $\{Sol^j : Class_1, Class_2, \dots, Class_n\}$, де n є кількістю класів, а невизначеності представляються вектором апостеріорних ймовірностей для заданого окремого об'єкту підтримки прийняття рішень:

$$Sol \stackrel{def}{=} [Class_i^{SC}] prb^{\max}(Class_j^{RC}), i, j = 1..n.$$

Простір рішень, в загальному випадку характеризується невизначеністю:

$$Utility \neq Bound(DecisionSpace).$$

Таким чином, доцільності оцінюються і присвоюються до комбінації певного рішення Sol_i і події класу $Class_j$:

$$ut([Sol = Sol_i] \wedge [Class = Class_j]),$$

$$\bar{u}(Sol = Sol_j) = \sum_i ut(Sol = Sol_j \wedge Class = Class_i) * Prb(Class = Class_i).$$

Отже, в термінах доцільностей для рішення Sol_j виконання присвоєння класу $Class_i$ до об'єкта задаватиметься формулою:

$$\begin{cases} ut(Sol = Sol_j \wedge Class = Class_i) = 1 \text{ для всіх } j = 1, \dots, n \text{ (} n \text{ є числом класів)} \\ ut(Sol = Sol_j \wedge Class = Class_i) = 0 \text{ для всіх } i, j = 1, \dots, n \text{ та } i \neq j \end{cases}$$

Для заданої послідовності керованих змінних (технологічних параметрів) процесу буріння виду:

$$tcp_1, tcp_2, \dots, tcp_n, \quad (1)$$

де n – кількість параметрів ($n \in N$), процес прийняття рішень щодо вибору оптимальних режимних параметрів буріння включає наступні кроки:

1. Виконання присвоєння ймовірних значень керованим параметрам технологічного процесу, які в загальному випадку розглядаються як невизначені.

$$\{tcp_1 : [v_1 : CF_1], tcp_2 : [v_2 : CF_2], \dots, tcp_n : [v_n : CF_n]\}.$$

2. Виконання присвоєння значень доцільності можливим очікуваним технологічним впливам від встановлення керованим змінним ймовірних значень.

Реалізація п. 2 виконуються на основі технологічної залежності, яка говорить про те, що вплив кожного керованого технологічного параметра на весь процес буріння залежить від встановлених значень інших параметрів. Факт впливу i -го параметра на технологічний процес представляється у вигляді:

$$tcp_i \longrightarrow TP,$$

де TP – технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин.

Згідно формулювання п. 2, технологічному параметру tcp_i встановлюється деяке значення v_i , ($tcp_i : v_i$), що матиме своїм наслідком зміну впливів всіх інших параметрів на процес буріння, що позначається як:

$$tcp_j \Big|_{[tcp_i, v_i]} \xrightarrow{[tcp_i, v_i]} TP, \quad i \neq j, \quad i, j \in [1..n].$$

Доцільність такого впливу оцінюється представленням:

$$ut_{[tcp_i, v_i]}^{[tcp_j \longrightarrow TP]}, \quad i \neq j, \quad i, j \in [1..n].$$

Тоді отримується представлення виду:

$$tcp_j \Big|_{[tcp_i, v_i]} \xrightarrow[ut_{[tcp_i, v_i]}^{[tcp_j \longrightarrow TP]}]{[tcp_i, v_i]} TP, \quad 0 \leq ut_{[tcp_i, v_i]}^{[tcp_j \longrightarrow TP]} \leq 1. \quad (2)$$

Враховуючи ймовірний та вірогідний характер присвоєння значень, згідно п.1, форма (2) представлятиметься у вигляді:

$$tcp_j \Big|_{tcp_i \{v_i, CF_i\}} \xrightarrow[ut_{[tcp_i \{v_i, CF_i\}] \longrightarrow TP}]{tcp_i \{v_i, CF_i\}} TP. \quad (3)$$

3. Вибір технологічного рішення, що максимізує очікувану доцільність технологічних впливів від встановлення керованим змінним ймовірнісних значень.

Формула (3) при $1 \leq j \leq n$ дозволить отримувати відповідні значення доцільності наслідків в формі впливів керованих змінних на процес буріння. При формуванні рішення $Sol(TP)$ необхідне досягнення максимізації очікуваної доцільності наслідків у формі технологічних впливів:

$$Sol(TP) = \max_{j=1..m} \left[\max_{i=1..n} \left[\sum_{i=1}^n \left[ut_{|cp_n}^{tcp_n} \rightarrow TP \right] \right] \right],$$

де $n, m \in N$, а індекс j позначає генерацію підстановок виду $j: (v_1^j, v_2^j, \dots, v_n^j)$.

В термінах задачі представлення та задоволення обмежень отримується додаткова інтерпретація шляхом введення множини змінних як наборів технологічних параметрів, діапазонів їх регламентних значень та множини накладених обмежень:

$$Sol(TP) | = \left[Constr^{Syst.} (CS^{crisp}, CS^{fuzzy}, CS^{psbl.}) \right] \vdash \left[\begin{array}{l} (tcp_1, tcp_2, \dots, tcp_n) \rightarrow (D_1, D_2, \dots, D_n) \\ C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\} \\ c_i: (tcp_1, tcp_2, \dots, tcp_i) | = \{D_i, D_2, \dots, D_i\} \supseteq c_i \end{array} \right].$$

Кожна підстановка $v^j = (v_1^j, v_2^j, \dots, v_n^j)$ буде шуканим оптимальним рішенням щодо вибору режимних параметрів процесу буріння, якщо вона задовольняє накладену систему обмежень (в чіткому, нечіткому або можливісному формулюванні):

$$Sol^{Opt.}(TP) = [v^j = (v_1^j, v_2^j, \dots, v_n^j)] | = [Constr^{Syst.}(CS^{crisp}, CS^{fuzzy}, CS^{psbl.})].$$

Приведено кінцеву оцінку *функціональності спроектованої моделі системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень* в процесі буріння. Визначено її архітектуру та приведено ймовірнісну оцінку проєктованих рішень. З точки зору моделі на основі ймовірнісної теорії прийняття рішень, невизначеність щодо наслідків (технологічних впливів) деякого рішення Sol моделюється розподілом ймовірностей $pd: V^{Set} \rightarrow [0,1]$, де V^{Set} – множина допустимих наборів значень керованих параметрів буріння. Відповідно, якщо розподіл ймовірностей будується для кожного з можливих рішень, то тоді очікувана доцільність обчислюється для кожного з цих рішень згідно формули:

$$ut^{Sol} = uf(Sol) = \sum_{v^j \in V^{Set}} [pd(v^j: Constr^{Syst.}), uf(v^j: Constr_j^{Set})]_{j=1..n, n \in N},$$

де $v^j = (v_1^j, v_2^j, \dots, v_k^j)$.

Оптимальне рішення вибирається шляхом агрегації оптимістичних і песимістичних сценаріїв з можливісними оцінками перебігу технологічного процесу в накладених системах та множинах обмежень:

$$Sol^{Opt. def.} := Aggr \left[\begin{array}{l} Sol^{Optm.} (psd | uf) = \left[\min_{v^j \in V^{Set}} \max \left((psd(v^j: Constr^{Syst.})), uf(v^j: Constr_j^{Set}) \right) \right] \\ Sol^{Pes.} (psd | uf) = \left[\max_{v^j \in V^{Set}} \min \left((psd(v^j: Constr^{Syst.})), uf(v^j: Constr_j^{Set}) \right) \right] \end{array} \right].$$

Нечітке відношення, що представляє систему обмежень, накладену i -м учасником процесу підтримки прийняття рішень, означається як:

$$Constr_i^{Syst.} [v^j] = \bigwedge_{i=1..n_i} [Constr_i^{Set} [v^j]],$$

де: $Constr_i^{Set} = \{c_1^i, c_2^i, \dots, c_{m_i}^i\}$ – накладені множини обмежень в рамках системи обмежень встановленої учасником підтримки прийняття рішень, що визначається набором значень керованих параметрів $v^j = (v_1^j, v_2^j, \dots, v_k^j)$, $j = 1..n$, $n_i, m_i \in N$; \wedge – оператор кон'юнктивної комбінації. Для кожного c_h^i учасник прийняття рішень задає доцільність $ut(c_h^i)$ та преференцію $prf(c_h^i): [c_h^i]_{prf(c_h^i)}^{ut(c_h^i)}$, де $1 \leq i \leq m_i$, що забезпечує обмін преференційними

рішеннями учасників відповідно до рівня задоволення накладених ними систем обмежень та вироблення оптимального рішення щодо вибору режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин.

Створена система є системою класу IDSS \ ІСППР (Intelligible decision support system \ Інтелектуальна система підтримки прийняття рішень), що забезпечує інтелектуальну підтримку прийняття рішень щодо оптимізації параметрів буріння нафтових і газових свердловин на основі використання цільових функцій для позначення доцільностей вихідних технологічних параметрів.

У загальних висновках сформульовано наукові та практичні результати роботи.

У додатках наведені структуровані фактичні дані по свердловинах Охтирського та Прикарпатського УБР ПАТ «Укрнафта» із виділеними ситуаціями прийняття рішень, описано функціональність розробленої інтелектуальної системи, а також представлено акти щодо впровадження отриманих теоретичних і практичних результатів дисертаційних досліджень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення важливої науково-практичної задачі в галузі автоматизації процесів керування – розроблено метод і систему інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин на основі цільових функцій обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів. В роботі отримано такі основні результати:

1. Проведено аналіз особливостей інтелектуалізації процедур прийняття оптимізаційних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин, що дозволило виділити характеристики критеріїв оптимізації буріння нафтових і газових свердловин в термінах режимів буріння. Розглянуто особливості застосування інтелектуальних систем при бурінні і прийнятті рішень на їх основі, що визначило оцінки рівня застосовності інтелектуальних методів при вирішенні технологічних проблем буріння нафтових і газових свердловин. Проведений аналіз застосувань експертних систем в бурінні дозволив визначити параметри, що в них контролюються. Проаналізовано види та способи вибору оптимальних режимів буріння, що сталою основою обґрунтування способу оптимізації керованих параметрів шляхом оперування з цільовими функціями обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів.

2. Запропоновано формальний опис постановки задачі моделювання інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння шляхом побудови абдуктивного фреймворку з ваговими коефіцієнтами, що дало змогу розглядати виконання присвоєння вагових коефіцієнтів як вираження значень ймовірності, які представляються правилами для зміни розподілу значень керованих змінних технологічного процесу.

3. Уперше обґрунтовано та досліджено технологію інтелектуальної підтримки прийняття рішень на основі баз знань чітких, нечітких та імовірнісних правил, що дозволяють оперувати з множинами вихідних технологічних параметрів та їх доцільностями. Реалізовано формальні методи інтелектуального керування процесом підтримки прийняття рішень на основі нечітких знань про процес буріння, що дозволяє безпосередньо оперувати із заданою чіткою або нечіткою структурою та інформацією в формі баз даних та баз знань з можливими неструктурованими, слабо структурованими та лінгвістичними входженнями, а також входженнями з невизначеністю, що в свою чергу визначає найбільш повний спосіб подання знань експертів технологічного процесу буріння.

4. Побудовано формальну структуру функціонування системи підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння, шляхом виділення множин керованих, некерованих, збурюючих та вихідних технологічних параметрів, що дозволяє звести задачу підтримки прийняття рішень до оптимізації значень керованих параметрів. Це дає змогу розглядати результуючу формальну модель як оптимізаційну, оскільки у ній наявні цільові функції, що повинні бути оптимізовані, в тому числі в процесі задоволення обмежень, накладених на множини введених змінних, які описують процес буріння нафтових і газових свердловин.

5. Розроблено формальний механізм інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів в процесі буріння нафтових і газових свердловин шляхом оперування з цільовими функціями обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів, що забезпечує інтелектуальну підтримку прийняття рішень при встановленні значень керованих параметрів технологічного процесу. Основою розробленого формального механізму є деревоподібна модель, яка забезпечує високий рівень аналізу невизначеностей і доцільностей в процесі побудови найкращого оптимального рішення, шляхом обчислення максимальної очікуваної доцільності на множині можливих рішень.

6. Реалізовано систему інтелектуальної підтримки прийняття оптимізаційних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин, що базується на методиці вибору оптимальних режимних параметрів буріння на основі функцій доцільності. Створена система на основі списку визначених цілей як результатів обчислення цільових функцій доцільності виконує пошук оптимального рішення у вигляді набору значень керованих змінних процесу буріння нафтових і газових свердловин, що, відповідно, задовольняє всі накладені на технологічні параметри обмеження.

7. Розроблено методику інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння на основі цільових функцій, яку впроваджено в ПАТ «Укрнафта»; отримані результати дослідження також прийняті до впровадження підприємством «Мікрол» і застосовуються у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, що підтверджено відповідними актами впровадження.

Розроблена в дисертації система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин може застосовуватись також для пошуково-розвідувального й експлуатаційного буріння нафтових і газових свердловин у формі предметно-незалежної інтелектуальної оболонки.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Демчина М.М. Розробка технології поточного та підсумкового контролю знань на основі методів експертних систем / М.М. Демчина, Р.М. Федорак, В.І. Шекета // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – №5(139). – С. 238-244.
2. Мельник В.Д. Технології інтерпретації документів в інтелектуальних системах дистанційного навчання / В.Д. Мельник, М.М. Демчина, В.І. Шекета // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2011. – №3(68). – С. 18-23.
3. 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.

4. Мельник В.Д. Виведення значень логічних параметрів в інтелектуальних системах дистанційного навчання / В.Д. Мельник, В.І. Шекета // Вісник Хмельницького національного університету. Технічна науково-технічна бібліотека №1(127). – С. 118-122.

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

6. Демчина М.М. Реалізація формальних методів інтелектуального керування на основі нечітких знань про нафтогазові об'єкти / М.М. Демчина, В.Р. Процюк, Г.Я. Процюк // Нафтогазова енергетика: всеукраїнський науково-технічний журнал ІФНТУНГ. – 2011. – №3(16). – С. 96-107.

7. Демчина М.М. Використання нечітких правил для подання знань в інтелектуальних системах нафтогазової предметної області / М.М. Демчина // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2012. – №1(31). – С. 132-141.

8. Демчина М.М. Імплементация концепцій штучного інтелекту в технологічних процесах буріння нафтових і газових свердловин / М.М. Демчина // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2012. – №3(33). – С. 98-111.

9. Демчина М.М. Дослідження функціонування бази знань експертної системи та підсумкового контролю знань / М.М. Демчина, Р.М. Федорак // Сучасні проблеми прикладної математики та інформатики: матеріали XVI всеукр. наук. конф., м. Львів, 8-9 жовтня 2009 р. – Львів, 2009. – С. 76-77.

10. Демчина М.М. Застосування концептуальних елементів експертних систем для контролю знань / М.М. Демчина, В.І. Шекета, Р.М. Федорак // Комп'ютерні науки та інформаційні технології: матеріали IV міжн. наук.-техн. конф., м. Львів, 15-17 жовтня 2009 р. – Львів, 2009. – С. 55-58.

11. Мельник В.Д. Прийняття рішень при модифікації запитів в системі дистанційного навчання / В.Д. Мельник, М.М. Демчина, В.І. Шекета // Теоретичні та прикладні аспекти побудови програмних систем: матеріали VI міжн. конф., м. Київ, 9-10 грудня 2009 р. – К., 2009. – С. 149-156.

12. Melnyk V.D. Frame Based Approach to Construction of Intelligent System for Student Knowledge Control / V.D.Melnyk, R.B.Vovk, M.M. Demchyna // TCSET'2010: Proceedings of the X International Conference, Lviv-Slavske, February 23-27, 2010. – Lviv-Slavske, 2010. – P. 287.

13. Демчина М.М. Представлення знань нафтогазової предметної області у вигляді структурованої фреймової системи / М.М. Демчина // Обчислювальний інтелект (результати, проблеми, перспективи): матеріали I міжн. наук.-техн. конф., м. Черкаси, 10-13 травня 2011 р. – Черкаси, 2011. – С. 91.

14. Демчина М.М. Структуризація знань нафтогазової предметної області у вигляді продукційної системи / М.М. Демчина // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали міжн. наук.-техн. конф., м. Київ, 23-28 травня 2011 р. – К., 2011. – С. 233.

15. Вовк Р.Б. Аналіз нештатних ситуацій процесу буріння на основі фізичних параметрів в формі технологічних обмежень / Р.Б.Вовк, Л.О.Бойчук, М.М.Демчина, Д.Р.Дзіндра // Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання: матеріали III наук.-практ. конф. студентів і молодих учених, м.Івано-Франківськ, 29-30 листопада 2011р. – Івано-Франківськ, 2011 – С. 41-42.

16. Вовк Р.Б. Структуризація технологічних обмежень при вимірюванні фізичних параметрів процесу буріння / Р.Б.Вовк, Л.О.Бойчук, В.М.Юрчишин М.М.Демчина //

Сучасні прилади, матеріали і технології для неруйнівного контролю і технічної діагностики машинобудівного і нафтогазопромислового обладнання: матеріали VI міжн. наук.-техн. конф. і виставки, м. Івано-Франківськ, 29 листопада - 2 грудня 2011р. – Івано-Франківськ, 2011. – С. 263-267.

17. Демчина М.М. Технологія інтелектуального опрацювання інформації про нафтогазові об'єкти / М.М. Демчина, Л. Старчевська, Д. Цінявський // Інформація, комунікація, суспільство: матеріали I міжн. наук. конф., м. Лівів, 25-28 квітня 2012 р. – Лівів, 2012. – С. 236-237.

18. Шекета В.І. Класифікація об'єктів нафтогазової предметної області на основі шаблонів у формі правил / В.І. Шекета, М.М. Демчина, Г.Я. Процюк // Інтелектуальний аналіз інформації: матеріали XII міжн. наук. конф. ім. Т.А.Таран, м. Київ, 16-18 травня 2012 р. – К., 2012. – С. 233-239.

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

20. Демчина М.М. Нечіткі методи і моделі управління в інтелектуальних системах нафтогазової предметної області / М.М. Демчина, Г.Я. Процюк, В.Р. Процюк // Контроль і управління в складних системах: матеріали XI міжн. конф., м. Вінниця, 9-11 жовтня 2012 р. – Вінниця, 2012. – С. 248.

21. Демчина М.М. Розробка структури інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень в процесі буріння / М.М. Демчина // Математичне та програмне забезпечення інтелектуальних систем: матеріали X ювілейної міжн. наук.-практ. конф., м. Дніпропетровськ, 21-23 листопада 2012 р. – Дніпропетровськ, 2012. – С. 88-89

22. Бандура В.В. Інтелектуальне програмне забезпечення контролю знань в дистанційній освіті / М.М. Демчина, В.В. Бандура, В.М. Юрчишин // Дистанційна освіта: стан і перспективи для технічних спеціальностей: матеріали I всеукр. наук.-метод. конф., м. Івано-Франківськ, 10-12 жовтня 2012 р. – Івано-Франківськ, 2012. – С. 42

АНОТАЦІЯ

Демчина М.М. Система інтелектуальної підтримки прийняття рішень при виборі оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Міністерство освіти і науки України, Івано-Франківськ, 2013.

Дисертацію присвячено розробці методу вибору оптимальних режимних параметрів буріння нафтових і газових свердловин на основі цільових функцій обчислення доцільностей вихідних технологічних параметрів як базового елементу інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, що використовує встановлені значення доцільностей для генерації експертних рекомендацій оператору щодо встановлення значень керованих параметрів.

На основі аналізу особливостей інтелектуалізації процедур підтримки прийняття оптимізаційних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин визначено характеристики критеріїв оптимізації буріння та особливості застосування інтелектуальних систем в процесі буріння. Побудовано абдуктивний фреймворк з ваговими значеннями для прийняття рішень в процесі буріння, визначено структуру керування процесом підтримки прийняття рішень засобами інтелектуальної системи на

основі чіткої та нечіткої логіки, реалізовано формальні методи інтелектуального керування підтримкою прийняття оптимізаційних рішень на основі чітких, нечітких та ймовірнісних знань про процес буріння. Розроблено методіку прийняття оптимальних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин на основі обчислення значень доцільностей для вихідних параметрів.

Запропоновано структуру, алгоритмічне та програмне забезпечення системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень на основі цільових функцій для оптимізації параметрів буріння.

Ключові слова: оптимізація, інтелектуальна підтримка прийняття рішень, буріння нафтових і газових свердловин, цільові функції, правила, бази знань, абдуктивний фреймворк, коефіцієнти впевненості, обмеження.

АННОТАЦИЯ

Демчина М.М. Система интеллектуальной поддержки принятия решений при выборе оптимальных режимных параметров бурения нефтяных и газовых скважин.
– На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Министерство образования и науки Украины, Ивано-Франковск, 2013.

Диссертация посвящена разработке метода выбора оптимальных режимных параметров бурения нефтяных и газовых скважин на основе целевых функций вычисления целесообразностей выходных параметров как базового элемента интеллектуальной системы поддержки принятия решений, которая использует установленные значения целесообразностей для генерации экспертных рекомендаций оператору относительно установления значений управляемых параметров.

На основе анализа особенностей интеллектуализации процедур поддержки принятия оптимизационных решений в процессе бурения нефтяных и газовых скважин определены характеристики критериев оптимизации бурения и особенности использования интеллектуальных систем в процессе бурения. Дано оценку применимости интеллектуальных методов к решению технологических проблем бурения и проведен анализ существующих применений интеллектуальных систем при бурении, проанализированы особенности оптимизации параметров бурения в реальном времени и выполнена структуризация и классификация процессов обработки и извлечения данных о процессе бурения. Формализован процесс извлечения данных для поддержки принятия решений, сформирован абдуктивный фреймворк принятия решений, обосновано использование абдуктивного подхода выполнения классификации данных о процессе бурения. Рассмотрено управление процессом поддержки принятия решений средствами интеллектуальной системы на основе четкой и нечеткой логики, реализованы формальные методы интеллектуального управления поддержкой принятия решений на основе четких и нечетких знаний о бурении и предложен механизм использования четких и нечетких правил для представления знаний в интеллектуальных системах поддержки принятия решений для оптимизации бурения. Выполнено моделирование предметной области на основе фреймово-продукционного подхода, рассмотрены возможные методы оптимизации и модели поддержки принятия решений в процессе бурения и структурировано процесс поддержки принятия решений при бурении нефтяных и газовых скважин в условиях неопределенности.

Предложена структура, алгоритмическое и программное обеспечение системы интеллектуальной поддержки принятия решений на основе целевых функций для

оптимизации параметров бурения. Разработана методика принятия оптимальных решений в процессе бурения нефтяных и газовых скважин на основе функций целесообразности. Выполнена оценка функциональности спроектированной модели системы интеллектуальной поддержки принятия оптимизационных решений в процессе бурения.

Ключевые слова: оптимизация, интеллектуальная поддержка принятия решений, бурение нефтяных и газовых скважин, целевые функции, правила, база знаний, абдуктивный фреймворк, коэффициенты уверенности, ограничения.

ABSTRACT

Demchyna M.M. The system of intelligible decisions support for choosing of optimal drilling technique parameters by oil and gas wells drilling. – Manuscript.

The thesis for a candidate of technical sciences degree on speciality 05.13.07 - automation of control processes. – Ivano-Frankivsk Technical National University of Oil and Gas, Ministry of education and science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2013.

The research is devoted to the development of new method for drilling technique optimal parameters choosing by oil and gas wells drilling. The proposed method is based on objective functions for calculation of usefulness for output parameters as one of main feature for creation of intelligible system for decision support which uses initiated values of utilities for generation of expert advices for operators to chose correct values of controlled parameters at the input of the system.

Based on the analysis of intellectualization peculiarities of routines for optimization implementation by decision taking support by the drilling of oil and gas wells, there was defined the characteristics of criteria's for drilling optimization and the features of intelligible system application in the process of drilling were disclosed. The abductive framework with weights was created for decision taking in the drilling, the formal structure is defined for control of decision taking support by means of intelligible system based on crispy and fuzzy logic, the formal methods is implemented for intelligible control of optimization by decision taking support based on knowledge's about drilling process in the form of relevant rules. The base methodology for optimal decision taking in the drilling of oil and gas wells was created by means of calculating of utility values for the system output parameters.

The general structure, algorithms and software for the system of intelligible decisions support based on objective functions routines for optimization of drilling parameters was created.

Keywords: optimization, intelligible decisions support, drilling of oil and gas wells, objective functions, rules, knowledgebase's, abductive framework, constraints.



an2390