

## ОСОБЛИВОСТІ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ В КОНТЕКСТІ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РЕЛЕВАНТНИХ РІШЕНЬ

М.С. Чесановський, В.І. Шекета, В.В. Процюк

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15,  
e-mail: gorb@nung.edu.ua

*Пропоноване рішення в формі імplementованих кейсів активностей оператора включатиме маніпуляцію виразами на основі правил та мету правил. Правила, які використовуються, можуть мати різноманітне походження: абстраговані, релевантні, орієнтовані на профіль конкретного користувача. Правила можуть використовуватися на трьох рівнях: перед-правила – використовуються перед початком обробки запиту, для корекції і доповнення вихідного запиту релевантними кейс-представленнями; правила, що використовуються після успішної обробки запиту з метою доповнення відповіді системи шляхом виконання додаткових запитів по звужених системах обмежень; правила, що використовуються у випадку збою запиту, використовуються для виклику альтернативних запитів у послаблених системах обмежень і видачі відповідних пояснень.*

Ключові слова: буріння свердловин, експертний досвід, керовані параметри, запити оператора, оптимізація, обмеження, кейс-представлення

*Предлагаемое решение в форме имплементированных кейсов активностей оператора включают манипуляцию выражениями на основе правил и цели правил. Правила, которые используются, могут иметь разнообразное происхождение: абстрагированные, релевантные, ориентированные на профиль конкретного пользователя. Правила могут использоваться на трех уровнях: пред-правила - используются перед началом обработки запроса, для коррекции и дополнения исходного запроса релевантными кейс-представлениями; правила, используемые после успешной обработки запроса с целью дополнения ответа системы путем выполнения дополнительных запросов по суженным системам ограничений; правила, используемые в случае сбоя запроса, используются для вызова альтернативных запросов в ослабленных системах ограничений и выдачи соответствующих объяснений.*

Ключевые слова: бурение скважин, экспертный опыт, управляемые параметры, запросы оператора, оптимизация, ограничения, кейс-представление

*The proposed solution, in the form of implemented case studies, includes manipulation of expressions based on rules and the purpose of the rules. The rules that are used can have a variety of origins: abstract, relevant, user-oriented. The rules can be used at three levels: pre-rules used before the processing of the request to correct and supplement the original query with relevant case-presentations; rules used after the successful processing of the request in order to supplement the system response by performing additional queries on the restricted constraint systems; the rules applied in the case of a query failure are used to call for alternative queries in weakened constraint systems and provide appropriate explanations.*

Keywords: well drilling, expert experience, controlled parameters, operator's requests, optimization, constraints, case representation.

### Постановка проблеми в загальному вигляді

Контекст оптимізації є одним з первинних стосовно прийняття рішень у процесі буріння нафтових та газових свердловин [1]. Традиційно розглядають модель лінійної швидкості буріння і аналізують параметри буріння з метою вибору осьового навантаження на долото, швидкості обертання долота і системи промивання долота. При такому способі аналізу розглядаються такі параметри: 1) міцність гірської породи; 2) глибина залягання гірської породи; 3) щільність гірської породи; 4) перепад тисків по довжині свердловини; 5) діаметр долота; 6) осьове навантаження на долото; 7) швидкість обертання долота; 8) ступінь зношеності долота; 9) система промивання долота. Основним результатом є те, що встановлено, як процедура аналізу може бути використана для систематичної оцінки багатьох констант у рівнянні для механічної швидкості буріння. При цьому для

ефективного оцінювання параметрів слід використовувати промислові дані з багатьох свердловин. Встановлено, що навіть використання відносно простих рівнянь для прийняття рішень у процесі буріння може зменшити вартість спорудження свердловини на 10%. Результати лабораторних експериментів з долотами лопатевого та шарошкового типів для прийнятого бурового розчину і гірських порід з заданою пористістю і пластовим тиском, який відрізняється міцністю і проникністю, свідчать, що зниження в механічній швидкості буріння через зростання міцності породи можна контролювати через різницю між тиском, що створює потік бурового розчину, і поровим тиском. Відомо також, що гірські породи на глибині мають менший показник буримості ніж ті, що ближче до поверхні, внаслідок збільшення пригнічуючого тиску.

## Аналіз останніх досліджень

Аналіз фахових досліджень [2–18] свідчить, що оцінка параметрів в більшості випадків виконується з метою визначення ефективного поєднання осьового навантаження на долото та швидкості обертання долота. В таких дослідженнях виводяться відповідні рівняння для механічної швидкості буріння для випадку, наприклад, шарошкового долота з урахуванням механізму кратеризації породи. За допомогою релевантних математичних відношень описується ефект кращого сталого осьового навантаження на долото і швидкості обертання для найменшої вартості, пропонуються рівняння для механічної швидкості буріння, що базується на лабораторних експертних даних. У роботі [3] проведено дослідження долота малого діаметра, що дозволило виразити швидкість буріння у вигляді експоненціальної залежності як функції псевдовібою свердловини або найближчого фіксованого значення для насадки бурового долота. У роботі [4] представлено розробку комп'ютерної системи контролю осьового навантаження на долото і швидкості обертання долота. У дослідженні [5] показано, що буровий розчин і гідравлічна система промивання долота є двома з найбільш впливовими на ефективність бурових робіт чинниками. Співвідношення між ефективністю і швидкістю буріння контролюється через швидкість обертання або через осьове навантаження на долото. Тому *прийняття рішень* у процесі буріння визначається змінним осьовим навантаженням на долото та змінною швидкістю обертання долота, що реалізується на основі методу Монте-Карло для визначеної найменшої вартості метра буріння. У роботі [6] вказується на важливість отримання та аналізу *даних* з метою *прийняття рішення* у процесі буріння. У дослідженні [7] представлено різноманітні системи прийняття рішення у процесі буріння з акцентом на керування осьовим навантаженням на долото і швидкістю обертання. У роботі [8] запропоновано підхід, який включає роботу з оперативними даними процесу буріння і також із застосуванням статистично-ймовірнісних технік для буріння. Представлений підхід у роботі [9] не дає абсолютного процесу буріння, хоча дає змогу впровадити систематизований *інтелектуальний фреймворк*, який може бути покращений у ході технологічного процесу буріння. У дослідженні [10] представлено задачу прийняття рішень щодо осьового навантаження на долото і вибору швидкості обертання долота. Як метод пошуку мінімальних значень застосовують також евристичний підхід, що дозволяє здійснювати прийняття рішень у процесі буріння на основі симуляції методу Монте-Карло, а також з використанням числових алгоритмів спеціального виду. Тож аналіз динаміки бурового долота і розробка систем комп'ютерної симуляції для різних умов буріння є визначальними. Так, у роботах [11–18] розроблено комплексні моделі для отримання рішення для визначення механічної швидкості буріння. Проаналізувавши попередні

літературні джерела та досягнення стосовно комунікаційних і комп'ютерних технологій, можна зробити висновок про відсутність алгоритму прийняття рішень у процесі буріння за допомогою статистичного *кейс-базованого* синтезу в режимі реального часу. Таким чином, для гарантованої валідації виконуваного статистичного аналізу необхідним є застосування відповідних інформаційних *кейс-базованих* моделей.

## Постановка задачі

Метою роботи є розробка *кейс-орієнтованих* інформаційно-програмних моделей для методології моделювання підтримки прийняття рішень у середовищі у знання-орієнтованої інформаційної технології, що базується на методах і алгоритмах контролю та модифікації керування змінних режиму процесу буріння нафтогазових свердловин на основі сформованих та динамічно оновлюваних сутностей *кейсів даних та знань* з формалізованим експертним досвідом висококваліфікованих операторів технологічного процесу буріння.

## Викладення основних матеріалів дослідження

Важливим аспектом досліджень предметної області нафтогазового буріння є використання методу математичного аналізу для оцінки коштів, пов'язаних з процесом буріння. Побудовано ряд емпіричних математичних виразів для очікувань щодо циклу роботи долота і швидкості буріння як функції від глибини, швидкості обертання, осьового навантаження на долото. Як підконтрольні змінні розглядаються: осьове навантаження на долото, швидкість обертання і потужність гідравлічної системи долота. Мінімізація вартості у пропонованому підході досягається шляхом застосування евристичного фреймворку. Встановлено, що швидкість буріння і термін роботи долота можуть бути отримані в уніфікованому буровому інтервалі із застосуванням одного і того ж долота.

Встановлено, що стійкість ефекту мультиколінеарності для кожного параметра є оберненопропорційною до впливу даного параметра на механічну швидкість буріння. В результаті показано, що зі збільшенням кількості вимірюваних точок збільшувалася надійність оцінюваних параметрів буріння. Проте недоліком запропонованої моделі є те, що точність оцінювання значення осьового навантаження на долото і швидкості обертання долота недостатньо високі через присутність мультиколінеарності в запропонованій моделі.

Таким чином, загальні результати дослідження дозволяють запропонувати оператору інструмент *прийняття рішень* щодо осьового навантаження на долото і швидкості обертання шляхом проведення розрахунків згідно із заданими умовами буріння з метою мінімізації загальних витрат на технологічний процес буріння.

Опис обмеження	Значення	Ступінь релевантності
Прихоплення бурильної колони	Спостережуваний параметр	93
Цементування	Прояви активності	86
Геологічні причини	Особливості формації	89
Мала площа перерізу кільцевого зазору	Спостережуваний параметр	67
Природна тріщинуватість	Є причиною	75
Малі втрати бурового розчину	Спостережуваний параметр	21

Рисунок 1 – Інформаційний кейс типових обмежень, що накладаються на процес буріння

Виберіть критерії оптимальності

Механічна швидкість буріння  Термін служби бурового долота  Проходка на долото

Встановлення бажаних значень вихідних параметрів

Механічна швидкість буріння    Термін служби бурового долота    Проходка на долото

Встановлюване значення

Чітке  Лінгвістичне

Введіть число в межах 1 до 15  м/год

Виберіть лінгвістичне значення зі списку

Оцінка доцільності встановлення значення

В чіткій шкалі  В лінгвістичній шкалі

Доцільність встановлення значення: 50

Доцільність встановлення значення: Середня

Рисунок 2 – Встановлення значень вихідних параметрів

Проте такі рівняння передбачають умови ідеального очищення, за якого усі уламки породи видаляються у проміжку між ударами зубця бурового долота. Співвідношення між швидкістю буріння, осьовим навантаженням на долото і швидкістю обертання долота визначено з припущення, що у свердловині забезпечено ідеальні умови очищення. Крім того, отримане співвідношення розглядається як функція від глибини буріння.

На основі даних залежностей генеруються графові представлення і рекомендуються процедури польового застосування, які дають змогу визначати краще поєднання сталого осьового навантаження на долото та швидкості обертання. Також використовується представлення параметра швидкості зношення долота як функції часу у відношенні до оберненопропорційної залежності осьового навантаження на долото до діаметра долота. Також використовується рівняння, яке задає співвідношення між швидкіс-

тю зношення зубців долота і швидкістю обертання долота тільки для долот з фрезерованими зубцями, призначеними для м'яких порід. На основі даного рівняння можна побудувати графічні залежності: вартості буріння; глибини, пробуреної за одиницю часу; часових характеристик буріння і стану зубців долота, на основі яких може розраховуватися динаміка зношеного долота. Основним результатом застосування підходу є висновок, що часові витрати можуть бути знижені шляхом використання *рекомендованих комбінацій параметрів буріння*.

У даному рівнянні порогове значення осьового навантаження на долото розглядалося настільки малим, що ним можна знехтувати, і механічна швидкість буріння розглядається як функція прикладеного до долота осьового навантаження і швидкості обертання долота.

Представлене співвідношення виражається як незалежне від осьового навантаження на долото і швидкості обертання, а також від дифе-

### Рекомендації системи по основних режимних параметрах

Значення режимних параметрів

Осьове навантаження на бурове долото	<input type="text"/>	kH
Швидкість обертання бурового долота:	<input type="text"/>	Об./хв

Рисунок 3 – Значення рекомендовані системою

#### Рекомендовані значення режимних параметрів буріння:

Осьове навантаження на бурове долото, kH  
 Швидкість обертання бурового долота, об/хв  
 Витрата промивної рідини, NaN, л/хв  
 Густина промивної рідини, NaN, кг/м<sup>3</sup>  
 В'язкість промивної рідини, NaN, x10<sup>3</sup> Па\*с

#### Прогнозована механічна швидкість проходки та термін служби бурового долота становитимуть:

Механічна швидкість буріння, NaN, м/год  
 Термін служби бурового долота, NaN, год  
 Проходка на долото, NaN, м

Тип бурового долота: III undefined

Рисунок 4 – Генерація системного сценарію

ренційного тиску у стовбурі свердловини і тиску в гірській породі.

Параметри визначають за критерієм мінімальної вартості буріння на основі чотирьох основних рівнянь: 1) швидкість буріння як функція від осьового навантаження на долото і від висоти зубців долота; 2) швидкість зношення долота як функції швидкості обертання долота; 3) швидкості зношення зубців долота; 4) вартості буріння. При інтеграції всіх даних рівнянь для сталих значень осьового навантаження на долото і швидкості обертання долота отримуються *найкращі рішення*.

Маніпулювання двома контрольованими параметрами відбувається через перепад тиску на вибої, параметрів бурового розчину, швидкість циркуляції бурового розчину, швидкість витікання струменя з насадки долота і конструкцію долота. За залежністю між швидкістю буріння та іншими параметрами буріння можна обчислити також параметри буріння.

Для цього розвинуто лінійні техніки згладжування за методом найменших квадратів, а також криволінійні згладжувальні техніки для перевпорядкування і згладжування шляхів так само, як зменшення вартості метра буріння для проміжних станів розрахунків на основі методу

Монте-Карло. Такий метод показав свою цінність завдяки строгості і простоті включення обмежень. Прийняття рішень у процесі буріння є важливим не тільки для осьового навантаження на долото і швидкості обертання в загальному, але також і для промивання свердловини, вибору долота, конструкції свердловини, обробки бурового розчину і для сепарації шламу.

Таким чином, застосування систем *прийняття рішень* у процесі буріння буде можливим, якщо потужності бурової установки буде достатньо для забезпечення адекватної гідравлічної характеристики. Бурова установка повинна бути здатною забезпечити необхідну швидкість обертання бурильної колони і через компоновку низу бурильної колони достатнє осьове навантаження на долото. Також обладнання для оперування з буровим розчином повинно мати достатню потужність, щоб відповідати зазначеним вимогам.

Підставою до проведення даного дослідження є потреба у плануванні підтримки буріння свердловини. Загалом задача прийняття рішення у процесі буріння зводиться до відбору необхідних даних на вхід комп'ютерної системи, що дозволило б обчислювати значення під-



Рисунок 5 – Буровий симулятор

контрольних параметрів буріння. Для цього необхідні, зокрема, щоденні дані з бурової установки для визначення ефективності буріння та внесення у процес необхідних змін. Узагальнення отриманих даних необхідне також для побудови більш ефективних свердловин у майбутньому.

Побудова динамічної нелінійної багатовимірної моделі для глибокого буріння вимагає використання теорії розмірного аналізу, що використовується для генерування рівнянь у безрозмірній формі. Модель складається з трьох рівнянь відповідно для механічної швидкості буріння, для швидкості зношення долота і для швидкості зношення підшипника. Дане дослідження відображає ефекти входження в рівняння таких змінних: осьового навантаження на долото, швидкості обертання долота, діаметр долота, діаметр насадки, діаметр підшипника долота, параметрів бурового розчину (густина і в'язкість), швидкість циркулювання бурового розчину, диференціальний тиск, твердість гірської породи, температурний коефіцієнт, коефіцієнт тепловіддачі. В роботі визначено механічну швидкість буріння в формі нелінійного рівняння з мультизмінними. Для того, щоб знайти коефіцієнти, використовуючи наявні дані, застосовано методологію аналізу засобами статистичного аналізу.

Зрозуміло, що експоненціальні значення всіх похідних моделей від базової є чутливими до значень невідомих параметрів, що даватиме відповідні флуктуації по нафтогазоносних регіонах і свердловинах. За даною залежністю можливо узагальнити результати моделі шляхом специфікації нафтогазоносного регіону і умов конкретних свердловин.

Представлення моделі механічної швидкості буріння повинно включати ефекти від початкової генерації уламків і їх видалення. Отримані рівняння для механічної швидкості буріння

складаються з двох виразів, які працюють тільки при припущенні досягнення ідеального очищення свердловини. Перший вираз визначає максимальне значення швидкості, яка підтримується заданим осьовим зусиллям на долото без урахування швидкості буріння зубцем, а другий вираз, у свою чергу, описує процес буріння зубцем в гірській породі. Отримані експериментальні дані підтвердили правильність побудованого рівняння як для випадку сталевих зубців, так і для твердосплавної коронки. В той же час слід враховувати формулювання для механічної швидкості буріння, швидкості зношення зубців і швидкості зношення підшипників. Встановлено, що задані рівняння можуть бути успішно використані для цілей прогнозування при задоволенні ряду накладених обмежень, а саме: 1) адекватного очищення вибою свердловини; 2) ефективного співвідношення порода – долото залежно від типу гірської породи; 3) припущення щодо однорідності гірської породи на макрорівні.

Методології для планування і контролю процесу буріння поєднують теорію контролю одиничного долота з програмами буріння декількома долотами для свердловини. Динамічна стратегія буріння може бути прирівняна до задачі прийняття рішення при звичайному бурінні в умовах типового польового досвіду. В даному контексті оцінено можливість значного потенціалу економії коштів (від 25% до 60% відповідно). Запропонований метод є найбільш ефективним стосовно вартості саме для дорогих і з тривалим терміном експлуатації доліт з полікристалічними алмазними вставками, що проявляється у більш ефективному їх використанні.

Тестування запропонованої моделі буріння на даних технологічного процесу і порівняння результатів з результатами, які отримуються для попередніх моделей, дає достатній рівень кореляції. Завдання розробленої моделі полягає



ло у здатності вибирати долото, підшипник долота, осьове навантаження на долото і швидкість обертання бурильної колони для мінімізації вартості процесу буріння. Основним результатом даного дослідження стало те, що значення механічної швидкості буріння для послідовних стовбурів свердловини в одному і тому ж родовищі може бути прогнозованим і базуватись на коефіцієнтах, обчислених на основі попередніх промислових даних, що буде результатом збереження коштів. Ефективність моделі буріння залежить від якості даних, які використовуються для проведення синтезу. Все це дає можливість представлення діаграм для організації процесу буріння з максимальною ефективністю за вартістю. Програмне забезпечення *бурового симулятора* є простим для розуміння та використання. Типовий симулятор володіє властивостями, з якими можуть експериментувати оператори технологічного процесу, змінюючи ефекти операційних параметрів з метою ефективного прийняття рішень.

Проведена комп'ютерна симуляція і лабораторні тести для квантифікації і розробки енергетично збалансованої моделі буріння стовбурів свердловин за умов гідростатичної герметичності дозволили вивести рівняння для механічної питомої енергії. Представлено методики ідентифікації, ефективніші, ніж концентроване оцінювання осьового навантаження на долото, і механічну швидкість буріння для проблем з підшипниками бурових доліт.

Також симулятор містить алгоритм, який дозволяє визначати механічну швидкість буріння і швидкість зношення бурового долота. При роботі зі симулятором доступні змінні загального часу і вартості разом з вартістю буріння одного метра в загальному і для долота, що, зокрема, використовується під час одного рейсу.

Однією з найбільш важливих задач є отримання найменшої вартості буріння метра буріння. Також висувалася задача контролю напряму стовбура свердловини та ідентифікації зон підвищеного тиску. Дані задачі розглядалися в контексті вибору параметрів буріння. Також досліджувався метод контуризації для вибору осьового навантаження на долото і значення його швидкості обертання.

Розглядається добуток змінних витрати рідини і перепаду тиску на долоті для прийняття рішень щодо гідравліки при бурінні стовбура свердловини. Подібно до попередньо представлених загальних підходів максимальної потужності і критерію ударної сили потоку, нова модель призначена для забезпечення достатньої продуктивності насоса для видалення шламу із стовбура свердловини. В дослідженні розглядається п'ять різних методів процесу буріння, таких як виділена проходка долота (для випадку гомогенних і негомогенних порід), виділена проходка долота (для випадку гомогенних і негомогенних інтервалів буріння) і підвищення ефективності (для кожної гомогенної гірської породи і виділеного типу долота). В результаті зроблено висновок, що прийняття рішень щодо

буріння на кожному з етапів буріння свердловини є більш економічно доцільним, ніж на виділених проходках долота. Також встановлено, що евристичний метод може бути використаний для прийняття рішень у спрямованому бурінні. Крім того, встановлено, що технологічно прийняття рішення може бути виконано після отримання даних для їх необхідної модифікації в наступній фазі буріння долота.

Проаналізовано існуючі комп'ютерні програми для найбільш загальних шести методів прийняття рішень у процесі буріння, що дозволяють графічну інтерпретацію. Розглянуто такі методи: 1) метод Galle-Woods; 2) постійний енергетичний метод прогнозування параметрів буріння; 3) підхід до дослідження режиму буріння у свердловині (пробне буріння); 4) підхід на основі засобів математичної статистики; 5) підхід до модифікованої ймовірнісно-можливої оцінки; 6) підхід на основі гідравліки буріння. Також завданням дослідження було розроблення рекомендацій операторам технологічного процесу буріння в польових умовах щодо здатності визначати параметри буріння шляхом їх ефективного оцінювання.

Виконано симуляцію основних дисфункцій динаміки буріння, таких як осьові коливання долота на вибої, поперечні коливання, збурення компоновки низу бурової колони або долота, різке підняття крутного моменту (крутий удар), скачкоподібні і оберткові коливання. В результаті зроблено висновок, що модель буріння в режимі on-line повинна бути базована на акумульованому і статистично обробленому практичному досвіді експертів буріння (операторів технологічного процесу).

Квантифікація контрольованих параметрів буріння виконується з метою спостереження за їх впливом на ефективність механічної швидкості буріння, базуючись на принципі подібностей гірських порід. Проведено чіткі спостереження досліджуваного впливу контрольованих параметрів буріння. Також виконано поділ бурових секцій на підсекції для мінімізації варіації механічної швидкості буріння в залежності від станів долота. Аналітичне представлення задач прийняття рішень щодо ефективності двигуна і бурових параметрів є безумовно центральним елементом моделювання. Представлено засоби комплексного прийняття рішень щодо вибору об'ємних двигунів з буровими параметрами для кінцевих шарошок і алмазних доліт. Встановлено загальне співвідношення між швидкістю обертання і осьовим навантаженням на долото, що дозволить оператору виключити експлуатацію двигуна поза експлуатаційним терміном.

Більшість відомих результатів, базуються на тестах, виконаних у процесі буріння нафтових та газових свердловин у віддаленому режимі з метою підвищення механічної швидкості буріння і терміну служби долота.

Заслугує на увагу побудова і використання рішення для комплексних мультизмінних проблем буріння шляхом одночасного прийняття рішень щодо механічних та гідравлічних

**Бажане значення механічної швидкості буріння**

Виберіть лінгвістичне значення зі списку

Дуже низька

Доцільність встановлення значення: 50

**Бажане значення терміну служби долота**

Виберіть лінгвістичне значення зі списку

Дуже низька

Доцільність встановлення значення: 50

Повернутися
Розрахувати значення режимних параметрів

Рисунок 6 – Встановлення значень доцільності

### Некеровані параметри

**Діаметр бурового долота**

Вкажіть діаметр бурового долота з діапазону від 75 до 490 мм

\_\_\_\_\_ мм

**Кількість шарошок в долоті**

Одна

**Густина промивної рідини**

Вкажіть густину промивної рідини з діапазону від 1000 до 1500 кг/м<sup>3</sup>

\_\_\_\_\_ кг/м<sup>3</sup>

**В'язкість промивної рідини**

Вкажіть в'язкість промивної рідини з діапазону від 5 до 35 Па/с

\_\_\_\_\_ x10<sup>3</sup> Па/с

Повернутися
Продовжити

Рисунок 7 – Усталені статистичні значення некерованих параметрів

параметрів, а також параметрів видалення шламу з вертикальних і горизонтальних свердловин. Результати підтверджують, що використання таких рішень може значно зменшити витрати на процес буріння. Даний процес розглядається як процес симуляції віртуального експертного досвіду в галузі буріння. Розроблений в результаті дослідження симулятор характеризується спеціальним ергометричним дизайном, сумісним із специфікованими наборами даних про процес буріння у виділеному нафтогазоносному районі за умов певного геологічного середовища. Симуляція такого виду може розглядатися як з'єднувальна ланка між знаннями, що містяться в активованих наборах даних, і здатністю до швидкого вивчення попередньо отриманих ідей та експертного досвіду стосовно наведених статистичних оцінок даних. Цінністю даного дослідження полягає в розробці ізометричних карт механічної швидкості буріння, а також відповідних 3-D діаграм. Обсяг дослідження стосується похилих та горизонтальних сверд-

ловин. Розроблена модель забезпечує ефективний інструмент для визначення ефекту поєднання кількох змінних та механічної швидкості буріння з накладеними технологічними обмеженнями. Існуючі результати також відображають той важливий факт, що використання технік інтерпретації інформації про нафтогазові об'єкти на основі нечітких моделей для прийняття рішень може суттєво знизити витрати на процес буріння.

За допомогою тих самих бурових установок у різних країнах неможливо з однаковою ефективністю проводити буріння через відсутність надійного обладнання для досягнення і підтримання високої якості бурових операцій. На старих бурових установках також бракує надійного інструментарію, а саме апаратури реєстрації разом з інструментами підтримки свердловини або супутніх технічних систем. Зокрема, для випадку широковживаного методу турбінного буріння не існує інструментарію для вимірювання швидкості обертання долота.

## Література

Отримані в результаті математичні відношення містять константи, які відповідають властивим гірським породами на досліджуваному родовищі. Існуючі методи відрізняються зростаючою комплексністю і вимогами щодо даних: 1) точковий метод мінімізує вартість метра буріння під час роботи долота; 2) інтервальний метод мінімізує вартість вибраного інтервалу; 3) мультиінтервальний метод мінімізує вартість над множиною інтервалів. Запропоновані моделі можуть використовуватися для прийняття рішень у процесі буріння, в тому числі й щодо зниження його вартості.

В основу даного дослідження покладено аналіз даних, отриманих при бурінні спрямованих свердловин. Буріння свердловин виконувалося спрямовано з фіксованих розміщень. Основним завданням, яке ставилося у процесі буріння, було досягнення заданих рівнів дебіту вуглеводнів з відносно високими кутами нахилу стовбура свердловини, тому власне параметри, записані з метою прийняття рішень у процесі буріння, є вкрай важливими.

## Висновки

Таким чином, проведений аналіз суті технологічного процесу нафтогазового буріння доводить доцільність побудови послідовностей імплементації кейсів модифікації запитів оператора-бурильника в два етапи: абстрагування, яке призводить до побудови нечіткого запиту, результатом якого буде більш докладна відповідь системи (значення параметрів на виході з більш широким діапазоном), ніж на вихідний запит. Наступний етап передбачатиме виконання низки послідовних уточнень, що уможливуватимуть побудову множини більш конкретних запитів, відповіді системи, які більшою мірою відповідатимуть потребам оператора технологічного процесу (вибраному режиму перебігу процесу).

Подальші дослідження даного напрямку полягатимуть у створенні та імплементації інформаційно-програмних кейсів для формально-логічних моделей контролю процесу буріння, ідентифікації його параметрів, для алгоритмів контролю та реагування на зміни умов буріння шляхом модифікації відповідних керування змінних процесу в умовах невизначеності, що є особливо актуальним для нафтогазовидобувної галузі України, що на сьогодні потребує створення нових високоефективних інтелектуальних рішень та систем.

Загалом впровадження в нафтогазовій галузі інформаційних систем на основі знань дозволить якісно змінити інформаційний супровід технологічних процесів галузі шляхом побудови нових інтелектуальних сутностей, що в своїй роботі базуватимуться на передовому експертному досвіді фахівців галузі, що поширюватиметься мережею в рамках корпоративних інтелектуальних рішень.

1 Шекета В.І. Методологія моделювання підтримки прийняття рішень у знання-орієнтованих інформаційних технологіях керування бурінням: дис. д-ра техн. наук. – Київ, ІПММС НАН України, 2017. – 507 с. – [http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Dysertacij/i/dis\\_Sheketa\\_17.pdf](http://www.immsp.kiev.ua/postgraduate/Dysertacij/i/dis_Sheketa_17.pdf)

2 Крижанівський Є. І. Підвищення ефективності буріння тришарошковими буровими долотами з відкритою опорою / Є. І. Крижанівський, Р. С. Яким, Л. Є. Шмандровський [та ін.] // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2010. – № 2 (35). – С. 17–22.

3 Горбійчук М. І. Оптимальне відпрацювання шарошкових доліт за станом озброєння в неоднорідних породах / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – № 4 (21). – С. 23–26.

4 Кропивницька В. Б. Комп'ютерна система оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин / В. Б. Кропивницька // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2008. – № 1. – С. 105–108.

5 Чудик І. І. Оптимальна подача промивальної рідини на вибій при бурінні свердловини / І. І. Чудик, Р. Б. Бабій // Нафтогазова енергетика. – 2007. – № 3 (4). – С. 71–75.

6 Семенцов Г. Н. Метод інтенсифікації параметрів математичної моделі за умов апіорної та поточної невизначеності процесу буріння / Г. Н. Семенцов, О. В. Фадеева // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2005. – № 3 (12). – С. 165–168.

7 Информационное обеспечение процесса бурения / Т. О. Акбулатов, Х. И. Акчурин, Л. М. Левинсон [и др.]. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. – 55 с.

8 Горбійчук М. І. Аналіз алгоритмів ідентифікації процесу заглиблення свердловин / М. І. Горбійчук, В. Б. Кропивницька // Нафтова і газова промисловість. – 2005. – № 2. – С. 24–26.

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

10 Дудля М. А. Алгоритм адаптивної стабілізації навантаження на долото / М. А. Дудля, В. М. Карпенко // Науковий вісник: збірник наукових праць Національної гірничої академії. – 2000. – № 4. – С. 81–88.

11 Osgouei R. E. Rate of Penetration Estimation Model for Directional and Horizontal Wells / R. E. Osgouei // Ms.S. Thesis. The Graduate School. – Ankara, TURKEY: Middle East Technical University, 2007. – 83 p.

12 Семенцов Г. Н. Моделювання функції мети для системи адаптивного оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління /



Г. Н. Семенцов, О. В. Гутак // Вісник Хмельницького нац. ун-ту. – 2010. – № 2. – С. 133–140.

13 Горбійчук М. І. Адаптація оптимального режиму до зміни умов буріння / М. І. Горбійчук // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2001. – № 1 (1). – С. 40–49.

14 Горбійчук М. І. Інформаційне забезпечення адаптивної системи керування процесом буріння / М. І. Горбійчук // Методи та прилади контролю якості. – 2002. – № 8. – С. 86–89.

15 Pereira J. J. Comprehensive Optimization of Drilling Parameters for Horizontal Wells / J. J. Pereira, E. Kuru, S. Miska // Energy technology conference and exhibition: presented at ETCE/OMAE 2000 Joint Conference: energy for the new millennium, (New Orleans, Louisiana, 14–17 February 2000). – New Orleans, Louisiana, 2000. – P. 1087–1096.

16 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 міжнар. наук.-практ. конф., (Чернігів-Жукин, 25–28 червня 2012 р.). – Чернігів, 2012. – С. 43–46.

17 Millheim K. Proactively Managed Drilling Operations Optimize Company Performance / K. Millheim // Oil & Gas Journal. – 2001. – September 17. – P. 71–77.

18 Cayeux E. Real-Time Optimization of the Drilling Process – Challenges in Industrialization / E. Cayeux, E. W. Dvergsnes, F. Iversen // SPE/IADC 119650, SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition, (Amsterdam, March 2009). – Amsterdam, Netherlands, 2009. – P. 1–12.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
17.03.18*

*Рекомендована до друку  
професором **Горбійчуком М.І.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
д-ром техн. наук **Кузем М.В.**  
(Івано-Франківський університет права  
ім. Короля Данила Галицького,  
м. Івано-Франківськ)*