

ОЦІНКА ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА КОНТРОЛЬОВАНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО УМОВ ТА РЕЖИМІВ БУРІННЯ

В.І. Шекета, М.С. Чесановський

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;
e-mail: vasylsheketa@gmail.com*

Питанню підтримки прийняття рішень при керуванні процесом буріння присвячено багато теоретичних і практичних досліджень та накопичено значні обсяги експериментальних даних, однак на сьогодні відсутні однозначно науково обґрунтовані представлення методів та алгоритмів контролю керованих змінних у залежності від заданих умов буріння, що могли б слугувати основою для створення формальних моделей інтелектуальної підтримки прийняття рішень. Ефективним підходом до вирішення цієї проблеми є розроблення допоміжних інтелектуальних модулів, які організуватимуть взаємодію "оператор-система". Такий модуль зміг би допомогти оператору в формулюванні запитань системі засобами кейс-подібних шаблонів побудови запитів, які потім пересилались би безпосередньо самій базі знань, або модуль зміг би коригувати вихідні запити за множиною керованих змінних через абстрагування з подальшим застосуванням процедури послідовних уточнень, пересилаючи системі результуючі нормалізовані запити відносно накладених систем обмежень, які будуть набагато більш інформативними, ніж вихідні запити.

Ключові слова: прийняття рішень, нафтогазове буріння, база даних, база знань, правила, кейси даних, контрольовані параметри, ймовірнісні оцінки.

Вопросу поддержки принятия решений при управлении процессом бурения посвящено много теоретических и практических исследований и накоплены значительные объемы экспериментальных данных, однако все же отсутствуют однозначно научно обоснованные представления методов и алгоритмов контроля управляемых переменных в зависимости от заданных условий бурения для возможности создания формальных моделей интеллектуальной поддержки принятия решений. Эффективным подходом является разработка вспомогательных интеллектуальных модулей для организации взаимодействия "оператор-система". Такой модуль смог бы помочь оператору при формулировке вопросов системе средствами кейсобразных шаблонов построения запросов, пересылаемых непосредственно базе знаний, или модуль смог бы выполнять коррекцию исходящих запросов по множеству управляемых переменных путем абстрагирования и последующего применения процедуры последовательных уточнений, пересылая системе результирующие нормализованные запросы относительно наложенных систем ограничений, которые будут гораздо более информативнее исходных запросов.

Ключевые слова: принятие решений, нефтегазовое бурение, база данных, база знаний, правила, кейсы данных, контролируемые параметры, вероятностные оценки.

The issue of decision-making in the management of the drilling process is dedicated to many theoretical and practical studies and the significant amounts of experimental data have been accumulated, but at present, there are no scientifically grounded methods and algorithms for the control of the managed variables depending on specified conditions of drilling that could serve as a basis for the creation of formal models of intellectual support of decision making. An effective approach to solving this problem is the development of the supplementary intelligent modules which should organize an "operator-system" interaction. This module could help the operator in formulating questions for the system by means of case-like templates for constructing queries, which then would be transferred directly to the knowledge database, or a module would be able to perform correction of the original query by means of the set of managed variables through abstraction and further application procedure of successive refinements, forwarding a system the resulting normalized queries in relation to the overlapping systems of restrictions that would be much more informative than the original requests.

Keywords: decision making, oil and gas drilling, database, knowledge database, rules, database cases, controlled parameters, probabilistic estimates.

Вступ. Класично для виконання прийняття рішень щодо параметрів буріння використовуються статистичні методи та техніки. Для виконання даного дослідження було здійснено огляд літературних джерел з проблем прийняття рішень в процесі буріння. З даною метою було розроблено модель, яка використовує фактичні польові дані, отримані за допомогою сучасних засобів моніторингу свердловин, а також засобами систем збору даних, що дозволяє прогнозувати швидкість буріння як функцію наявних параметрів [1–2]. Таким чином, загальне рівняння швидкості буріння може

бути задано в кожній новій точці отримання даних. З метою прийняття рішень на основі польових параметрів необхідно розробити комп'ютерну мережу, яка отримуватиме дані безпосередньо з джерел даних. Таким чином, база даних на сервері буде послідовно розраховувати параметри розробленої моделі, про що повідомлятиме операторів бурової. Відповідно оператор передаватиме поточні бурові параметри на сервер, і в центрі розробки визначатимуться параметри нової моделі та параметри буріння з врахуванням отриманої інформації. Таким чином, даний процес можна розглядати

як процес контролю параметрів у режимі реального часу в термінах змінних з накладеними на них обмеженнями [3–5].

У більшості досліджень виходять з того, що швидкість буріння може бути змодельована в середовищі реального часу як функція незалежних змінних (параметрів буріння), таких як осьове зусилля на долото, швидкість обертання бурової колони, густина бурового розчину і характеристики гірської породи. Здатність отримувати відповідну швидкість буріння за глибиною з урахуванням характеристик виділених параметрів для заданої гірської породи в режимі реального часу дозволить привносити нові підходи до проблеми ефективного буріння. Будь-яке суттєве відхилення фактичної швидкості буріння від прогнозованого тренду буде важливим показником, що може бути наперед визначено у режимі реального часу.

Імплементація відповідних зв'язків між об'єктами найбільш доцільна в формі відповідних стрілок контролю зв'язаності/незв'язаності для побудови відповідної системи на запити користувача. При такому підході базовою ідеєю буде той факт, що можна використати процес абстрагування на основі вхідних даних для того, щоб розширити питання, яке користувач задає системі через виконання трансформації вихідного запиту таким чином, що саме ймовірніший запит протиставлятиметься процедурі абстрагування замість набору вхідних даних через введення специфічного оператора, який дозволить послідовне звуження множини ймовірнісних відповідей системи з виходом коефіцієнтів впевненості на граничні значення верифікованої істинності.

Метою даної статті є структуризація великої кількості інформації в формі часткових та повнофункціональних інформаційних описових кейсів для побудови процедур абстрагування. Крім того, база знань системи повинна буде містити інформацію про структуру зв'язків між об'єктами в формі класів стрілок, що фактично перетворюватиме процедури абстрагування у вигляді жорстких представлень, які не забезпечуватимуть користувачу адаптивну підтримку при побудові ним запитів, у тому числі щодо прийняття відповідних максимально релевантних рішень у формі обчислюваних відповідей системи згідно з накладеними системами обмежень.

Основна частина. Щорічно для потреб нафтогазової промисловості України проектується значна кількість комплексних баз даних і знань, користування якими часто викликає значні труднощі в кінцевих користувачів. Розробники прикладного програмного забезпечення для нафтогазової предметної області часто продукують програмні продукти на основі баз даних і знань, які є потужними засобами накопичення і обробки інформації предметної області, але спеціалісти, експерти нафтогазової галузі, виявляються нездатними використати їх ефективно [6]. Проблема оптимальної побудови

діалогу “експерт нафтогазової предметної області – знання-орієнтована система на основі баз даних і знань” є багатогранною.

Користувач може не мати правильного концептуального розуміння того, що таке знання-орієнтована система.

Користувач може не вміти точно специфікувати програмні компоненти структури знання-орієнтованої системи, які він хоче використати.

Користувач (особливо на рівні оператора ТП) може не знати точно, в якій формі подати запит на потрібну йому інформацію, досягнення відповідного режиму перебігу ТП на встановлення коректних очікуваних значень керованих параметрів у термінах доступної семантики мови побудови запитів, що пропонується системою відповідного рівня, особливо в ситуаціях, пов'язаних з інтелектуальною підтримкою прийняття рішень.

Інтерактивна підтримка користувача при формулюванні ним запитів повинна бути організована таким чином, щоб результуючий запит був найкращою з можливих апроксимацією інформаційних потреб користувача щодо очікуваних результатів у формі обчислюваних відповідей системи. Після таких установок виконання обробки запиту можна здійснювати через використання звичайних засобів обробки запитів у системах на основі БД і БЗ, і повертати результат згідно із сформульованим початковим запитом у накладеній системі обмежень. Спосіб представлення результату в даному випадку повинен бути найбільш зрозумілим користувачу, наприклад для оператора ТП – це набір значень вихідних параметрів.

Весь описаний процес може повторюватися ітераційно (йтиметься саме про ітераційний підбір найбільш задовільного кейсу), доки не будуть повністю задоволені потреби користувача щодо очікуваних результатів (значень параметрів на виході). Таким чином, проблема оптимізації діалогу “користувач – система на основі знань (знання-орієнтована система)” із точки зору підтримки, формулювання запитів зводиться до використання нечітких і асоціативних знань про відношення між відповідними об'єктами, якими визначатимуть структурну схему системи загалом.

Метою такого підходу є побудова допоміжного модуля, що дозволить одержувати інформацію про структуру параметрів системи на вході і підказки системи щодо формулювання точних запитів, які відповідають тим обмеженням, які накладаються існуючими представленнями результатів у формі відповідних кейсів значень даних на виході. Такий підхід відповідає виділеному класу рішень для відповідної технологічної проблеми при накладених ієрархіях, системах та множинах обмежень.

У запропонованому дослідженні насамперед вводяться базові засоби підтримки користувача, сумісні зі стандартними БД і БЗ. Після цього послідовно можна адаптувати введені засоби для досягнення більш досконалого процесу моделювання підтримки прийняття рішень, який

здатний ефективно працювати із системами, що використовують семантики високого рівня, зокрема знання-орієнтованими системами загальною. Опис базових засобів підтримки користувача спирається на практичний досвід, одержаний при роботі із прототипами, розробленими як частина проектів держбюджетних тем з розроблення інформаційних інтелектуальних систем на основі баз даних та знань для нафтогазової промисловості України в період з 2001 по 2014 рік, де досліджувалися питання застосування методів обробки знань для створення інформаційних систем для нафтогазової промисловості. Такі прототипи систем реалізовувалися на базі SQL із використанням мов класу LP\CLP для побудови імплементацій за правилами. Особливості моделей даних у цьому випадку полягають у використанні класів і метакласів обмежень, що накладаються на специфікацію правил для отримання еквівалентної релевантності виразів. За допомогою метакласів стає можливим ефективне представлення загальних знань, побудованих у вигляді семантичних ієрархій, таких як специфікація і узагальнення. Введення поняття «релевантності» уможливило також виконання модифікацій баз знань і самих запитів на основі правил. Зокрема класи і метакласи були імplementовані у прототипах способами, які дозволяють ефективно структурування великих наборів правил для вираження умов релевантності в тілах виразів. Водночас, попри те, що дані проекти мали специфічну орієнтацію на нафтогазову предметну область, розроблений формально-логічний апарат може бути застосований і в інших системах на основі БД і БЗ для інших предметних областей.

Оскільки в загальному випадку користувач задає питання системі, як правило загального плану, то першим важливим завданням інтерфейсу підтримки користувача при побудові ним запитів повинна бути ідентифікація цілей поточного користувача та рівня його компетенцій, у тому числі в термінах систем та ієрархій обмежень, що накладаються на простір існування рішень.

Іншим важливим завданням є підтримання розуміння користувачем архітектури знання-орієнтованої системи таким чином, щоб він міг мати ефективний доступ до інформації в формі даних та знань. Характеристика вибраного підходу до побудови засобів моделювання підтримки побудови користувачем запитів полягає в орієнтованості проєктованих засобів підтримки на кінцевого користувача – оператора ТП, їх контекстної залежності, що є відповідно чітко вираженою в концепції обмежень.

У дослідженні [7] проаналізовано контрольовані змінні процесу буріння, що чинять вплив на швидкість буріння, а саме: маса бурового розчину, осьове зусилля на долото, швидкість обертання долота, тип долота, гідравліка (контрольовані змінні, параметри буріння). Таким чином, відповідний вибір контрольованих змінних є основним фактором суттєвого покращання швидкості буріння. В даній роботі

було також представлено концепцію верхньої границі швидкості буріння або «технічну границю», яка не може бути перевищена без ризиків щодо безпеки технологічного процесу. Наприклад, вибране значення ваги бурового розчину повинно бути не меншим за вагу, яка отримуватиметься в результаті викиду і руйнування стовбура свердловини (стабільність стовбура свердловини). Таким чином, параметри осьового зусилля на долото та кількості обертів за хвилину повинні мати максимальні значення з метою мінімізації вартості експлуатації долота і забезпечення стабільності бурової колони. Відповідно, розхід рідини повинен бути вибраний шляхом аналізу гідравліки долота і методів очищення вибою свердловини.

У дослідженні [8] висвітлюється математично обґрунтоване прийняття рішень щодо параметрів буріння з метою зменшення вартості буріння. Для цього розглядаються такі параметри, як осьове зусилля на долото, швидкість обертання, тип долота, зношеність бурового долота, гідравліка долота, які вважаються такими, що чинять безпосередній вплив на механічну швидкість буріння. Визначено аналітичне представлення рівняння вартості буріння за рівнянням нелінійної швидкості буріння. Представлено також систему прийняття рішень щодо параметрів буріння на основі актуальних фактичних польових даних, отриманих з фахових джерел. Прийняття рішень стосовно вибору даних параметрів було виконано на основі запропонованих рівнянь та математичних моделей. Запропонована методика дозволила зменшити витрати на процес буріння в 4 рази.

Одним із перших в області прийняття рішень у процесі буріння в реальному часі було дослідження [9]. Отримані результати базувалися на застосуванні всіх можливих засобів з метою покращання параметрів буріння на буровому майданчику. При цьому вимагалась наявність технічних засобів для віддаленої передачі даних із місця розміщення бурової установки на сервер, що стало можливим тільки з появою новітніх рішень в області програмного та апаратного забезпечення комп'ютерних технологій. Зроблено висновок, що поєднання сучасних технологічних IT-рішень і бурової інженерії для вирішення задачі прийняття рішень у процесі буріння в реальному часі гарантовано скорочуватиме час «на чисте буріння», підвищуватиме його ефективність, зменшуватиме шкідливі впливи на гірську породу, а також гарантовано зменшуватиме загальні витрати на процес буріння.

У роботі [10] представлено веб-базовану систему доставки даних, яка забезпечує їх шифрування та підтримує високу швидкість передачі в реальному часі. Дане дослідження відображає новий тренд у технологіях буріння, що стосується прийняття рішень.

Таким чином, процес прийняття рішення потребує використання найбільш ефективного експертного досвіду, а також ефективних методів передачі релевантних даних у ході інтелектуалізації процедур аналізу даних нафтогазової

предметної області засобами інформаційно-пошукових задач на основі обмежень [11].

У дослідженні [12] представлено новітню інноваційну систему автоматизації і контролю процесу буріння. В даному проекті для прийняття рішень у процесі буріння використовуються всі доступні та наявні дані про процес буріння як з поверхні, так і з самої свердловини. Одним із найбільш важливих модулів даної системи є модуль прийняття рішення щодо осьового зусилля на долото, який дозволяє регулювати швидкість обертання і осьове зусилля на долото, а також відслідковувати, наскільки відповідні зміни впливають на механічну швидкість буріння. Також вказано, що попередження проявів стрибкоподібної подачі (інтервального переміщення) шляхом застосування одного з наборів алгоритмів дає змогу підвищити механічну швидкість буріння на 15-30%.

У роботі [13] досліджено і категоризовано компоненти технології прийняття рішень у реальному часі, що підкреслює значення даної технології для новітніх методик буріння. В основі дослідження покладено аналіз ряду фактичних даних, що дозволило оцінити вплив та фактичну цінність систем прийняття рішень у режимі реального часу. Було також показано, що основна складність систем прийняття рішень у режимі реального часу полягає в тому, що вона включає людський фактор, фактор технології та компоненти технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин. У результаті було запропоновано інструменти для оцінки потенційної економії коштів та часу, а також описано технологічні компоненти для їх реалізації. Представлена категоризація технологічних компонент використовує діаграми, які відображають процес економічної оцінки. Було продемонстровано еталонне тестування щодо порівняння потужності представленої технології буріння і наведено обґрунтування проекту шляхом порівняння з історією фактичних даних.

У роботі [14] представлено ефективне використання концепції «механічної питомої енергії» в оцінюванні бурової ефективності доліт у реальному часі. Створено систему, яка дозволяє оператору технологічного процесу неперервне контролювання значень механічної питомої енергії, що розраховується через поверхневі вимірювання разом з іншими нормальними каротажними значеннями процесу буріння. Запропонований підхід дозволяє також легко ідентифікувати прояви налипання породи на долото.

У дослідженні [15] розроблено методологію контролю і прийняття рішень щодо бурових операцій, базуючись на вимірюваннях, проведених у реальному часі. Поряд з більшістю технік контролю буріння в даному випадку модуль прийняття рішень щодо осьового зусилля на долото, що дозволяє модулювання осьового зусилля на долото та обертів за хвилину засобами спостереження того, наскільки виділені зміни даних параметрів впливають на механічну швидкість буріння. Розроблена система демонструє здатність підтримувати бурові операції в межах критичних границь і у такий

спосіб підвищувати безпеку і зменшувати час простою під час буріння.

У роботі [16] представлена розробка системи, яка забезпечує передачу даних у режимі реального часу на серверний центр підтримки буріння. Мета передачі даних полягає в перевірці їх якості за допомогою релевантних мультидисциплінарних фахівців, які не обов'язково знаходяться в одному офісі, а можуть також надавати свої послуги в режимі on-line за допомогою високошвидкісного Інтернет-з'єднання. В даному випадку процес прийняття рішень базується на судженнях експертів, включених у процес, що, у свою чергу, технічно і технологічно зводиться до оцінювання наявного в них експертного досвіду. Основним висновком роботи є те, що використання передачі даних в режимі реального часу суттєво зменшить кількість нештатних ситуацій через примусове закриття свердловин і підвищить регулярність та регламентованість технологічних операцій.

У роботі [17] проведено дослідження, яке дозволяє оператору реалізувати процес буріння в складних гідравлічних умовах з більшою надійністю, запобігаючи аварійному опусканню обсадних колон, що зменшить витрати на процес буріння. Дані передаються в режимі реального часу через супутниковий зв'язок. Система видає рекомендації стосовно ваги бурового розчину, які надходять на бурову установку з метою реалізації відповідних змін в технологічних операціях. Наприклад, гідродинамічний контроль у реальному часі дозволяє ідентифікувати деталі градієнта тиску гідравлічного розриву у стовбурі свердловини.

У роботі [18] показано, що точка прийняття рішення може бути відсунута від моменту отримання даних у бік центру підтримки технологічних операцій. Показано, що з'єднання в реальному часі від бурової установки до контролюючого офісу набуває форми новітнього тренду в задачах, що дозволяють віддалений контроль технологічних операцій. Один з основних висновків полягає в тому, що «data-центричний» підхід (тобто підхід, у центрі якого знаходяться дані реального часу) у випадку задачі прийняття рішень у процесі буріння дозволяє значно підвищити ефективність буріння. Було показано, що в багатьох випадках використання центру віддалення технологічних операцій має безпосередній позитивний вплив на загальну ефективність технологічних операцій.

У роботі [19] представлено підхід до управління механічною швидкістю буріння в реальному часі, використовуючи технологію налаштовуваного контролю для послідовно стабільної максимізації ефективності відколювання уламків породи буровим долотом і передачі енергії від підлоги бурової вежі до долота. Основним удосконаленням, що пропонується в роботі, є модернізація гідравлічної потужності для зменшення ефекту впливу шламу на озброєння долота. Для цього застосовується неперервний контроль механічної питомої енергії, і виконується налаштування осьового зусилля на

долото і кількості обертів за хвилину з метою впливу на вібрації на вибої і зменшення загальних втрат енергії.

У дослідженні [20] аналізуються проблеми неефективного використання даних із свердловини за часом та з глибиною, а також зосереджено увагу тільки на виділених даних із свердловини замість порівняння відповідних наборів таких даних. У результаті було побудовано систему, в якій дані зберігалися в формі history-файлів, які каталогізуються за часовими характеристиками. Система здатна охоплювати до 200 параметрів на свердловину з частотою оновлення даних кожні 5с одночасно по 20 свердловинах. Система зберігає дані по 3000 свердловин, доступних on-line. Економія коштів досягається за рахунок можливості одночасного доступу бурових експертів до даних про довільну кількість свердловин, що дозволяє зменшувати час реагування на відповідні зміни в технологічних процесах та операціях.

У роботі [21] систему адаптовано до механізмів контролю бурової установки на рівні передачі сигналів від давачів із поверхні та з вибою свердловини в режимі реального часу і до бурового майданчика у віддаленому режимі. Динаміка системи протестована для проявів у свердловині, механіки бурової колони, термофізичних властивостей, видалення шламу, моделей крутного моменту та гідродинамічного опору. Проведені тестові дослідження показали, що можливим є досягнення такого рівня системи, на якому вона може обчислювати параметри і верифікувати якість розрахунків безпечних експлуатаційних режимів. Наприклад, що стосується діагностики питань стабільності стовбура свердловини і транспортування шламу – через аналіз трендів тертя між стовбуром свердловини і буровою колоною з використанням моделей крутного моменту і гідродинамічного опору. Було встановлено, що система може допомагати у вирішенні таких проблем, як поглинання бурового розчину, прихоплення бурильної труби і тенденції збільшення дебіту, а також генерування експертних порад щодо поведінки оператора технологічного процесу для уникнення виникнення нештатних ситуацій. У даному дослідженні було також вказано, що функціональність системи може розглядатися як функція від якості даних, а також як функція від коректного налаштування системи.

Інтелімедійна інформаційна система підтримання прийняття рішень у процесі буріння [22] базується на методології, що складається з кроків, в яких оцінюється осьове зусилля на долото при заданій механічній швидкості буріння, а також на основі методу кореляції оцінюються швидкість обертання бурової колони і параметри осьового зусилля на долото. Параметр вибирають, базуючись на досягненні співвідношення найменшої вартості на метр проходки. За результатами дослідження робиться висновок, що ефективність експлуатаційних свердловин може бути покращена за рахунок використання цієї техніки за відсутності перевірених фактичних даних.

Одним із найбільш важливих аргументів, з точки зору ефективного транспортування шламу з стовбура свердловини, є прийняття до розгляду чинників, поданих в табл. 1

Таблиця 1 – Чинники ефективного очищення стовбура свердловини

1	Кут нахилу свердловини
2	Витрата флюїду
3	Властивості флюїду (реологія, густина)
4	Розмір бурового шламу, його форма і концентрація
5	Об'єм затрубного простору
6	Швидкість обертання та ексцентричність труби
7	Режим руху флюїду (ламінарний, турбулентний)

Основною проблемою моделювання є збір бурових даних з різних бурових майданчиків у режимі реального часу і збереження їх на центральному сервері. Для цього потрібен механізм фільтрування даних. Так, для оцінки характеристики механічної швидкості буріння можуть бути застосовані ймовірно-можливісні техніки оцінки збережених даних з кожної окремої гірської породи. Перед обробленням «сирі» дані розглядаються як такі, що дають більш точні результати, якщо їх скоригувати у відповідності до осьового зусилля на долото, приймаючи до уваги нахил стовбура і швидкість обертання долота, що забезпечується двигуном. Застосування скоригованих параметрів дозволяють знизити витрату коштів, пов'язаних з процесом буріння.

Перевага застосування ймовірно-можливісних технік полягає у здатності оцінювати механічну швидкість буріння як функцію від незалежних параметрів буріння. На основі аналізу параметрів буріння може бути побудовано базу даних, що відповідає кожному виду гірської породи, а також встановлено відношення між параметрами буріння і трендом механічної швидкості буріння. Наперед визначена ефективність механічної швидкості буріння може бути узгоджена між учасниками технологічного процесу. Ефективність механічної швидкості буріння може бути візуалізована як функція контрольованих змінних з урахуванням глибини і повинна бути контрольована з метою гарантування того, що кожне відхилення від наперед встановленого тренду може призвести до виникнення нештатних ситуацій. Відповідно, необхідні дії повинні бути прийняті у випадку виникнення відхилення від наперед визначеного тренду механічної швидкості буріння, яке в найбільш загальному випадку є наслідком змін у породі, характеристик бурових параметрів або деяких технічних причин у допоміжних системах бурової установки. Виконання аналізу чутливості системи на результатах, що визначаються коефіцієнтами відповідних рівнянь на етапі збору даних, у реальному часі даватиме когерентні діаграми на рівні од-

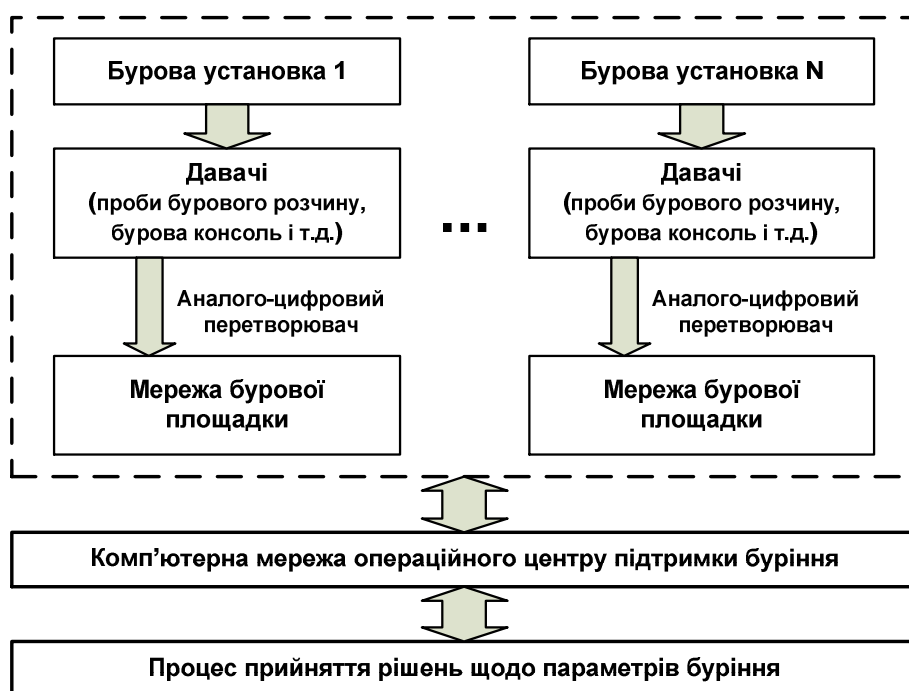


Рисунок 1 – Теоретична модель процесу буріння

нієї і тієї ж гірської породи, які відрізнятимуться в різних породах.

Модель для механічної швидкості буріння визначається з метою досягнення основної цілі даного дослідження, а саме прийняття рішень у реальному часі, що забезпечить бажану механічну швидкість буріння. Завдання також полягає у прийнятті рішень щодо прикладеного осьового зусилля на долото і швидкості обертання бурового долота. В результаті процес буріння розглядається як залежний від гірської породи. Для побудови методології використовується ймовірнісно-можливісна техніка, що за своєю суттю є класичним статистичним підходом. Для цього побудовано комп'ютерну програму для визначення коефіцієнтів у загальному рівнянні для механічної швидкості буріння. Математично обчислено механічну швидкість буріння як функції від контрольованих і неконтрольованих параметрів буріння.

Представлена в даному дослідженні модель для механічної швидкості буріння є функцією незалежних змінних. Прикладами незалежних змінних є параметри виду: ефект цільності, діаметр долота, осьове зусилля, ефект швидкості обертання, ступінь зношеності зубців, гідроліка бурового долота. Всі бурові параметри повинні надходити на установку з метою контролю за станом і властивостями бурового розчину, після чого передаватися на центральний сервер для зберігання і синтезу. Спотворені дані негативно впливатимуть на результат процесу. І з цієї причини дані, що передаються, повинні містити якомога менше спотворень. Пропонується методологія полягає в тому, щоб обробляти дані з більш ніж одного бурового майданчика і конкатенувати їх в унікальні набори даних із застосуванням відповідних процедур статистичного аналізу. Показано, що методоло-

гія буде функціональною навіть для різного типу бурового розчину, глибини буріння і типів доліт, оскільки пропонується модель враховує всі ці параметри. Оскільки досліджуваний процес залежить від гірської породи, одночасно зібрані дані для двох свердловин повинні бути оброблені. Так, якщо властивості гірської породи однакові на всіх ділянках, дані з обох свердловин обробляються однаково. У випадку, якщо літології виділених двох свердловин є цілком відмінні, тоді дані обробляють індивідуально для кожної із свердловин.

На рис. 1 відображено теоретичні аспекти схематичного застосування методології. Процес починається з отримання бурових даних з комп'ютерної мережі бурового майданчика, передачі отриманих даних в операційний центр або на центральний сервер. Відповідно центральний сервер виконуватиме аналіз і відправлятиме оброблені дані по зворотному зв'язку на буровий майданчик. Оператор технологічного процесу відіграватиме найважливішу роль для реалізації параметрів буріння, визначених для технологічного процесу.

Загальне лінійне рівняння механічної швидкості буріння є функцією від контрольованих та неконтрольованих змінних буріння.

Розглядувані ефекти впливу контрольованих і неконтрольованих змінних буріння на механічну швидкість буріння можуть бути детально описані для кожного входження (рис. 2).

Прийняття рішень щодо параметрів буріння може бути виконане засобами налаштування магнітуди двох або більше незалежних параметрів. Відповідно це може бути досягнуто засобами: 1) мінімізації вартості за метр буріння; 2) мінімізації ймовірності виникнення нештатних ситуацій технологічного процесу.

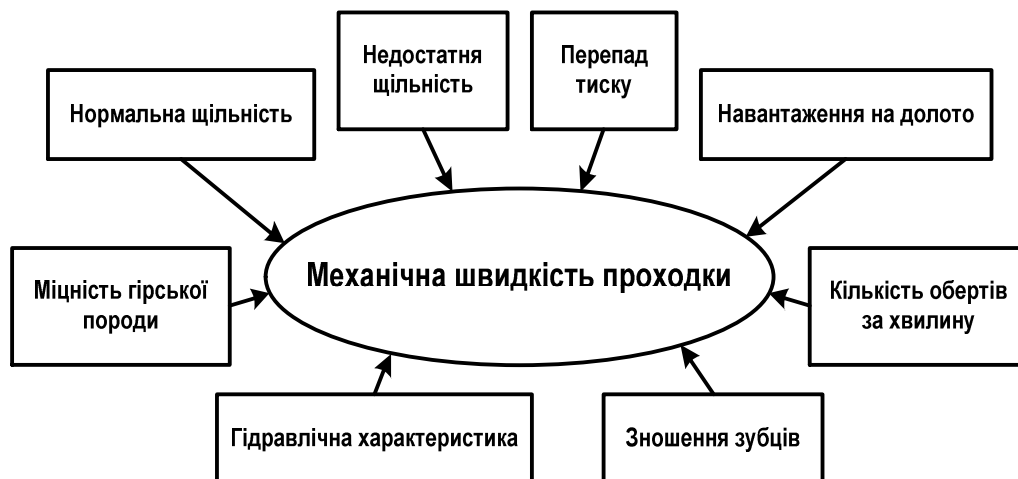


Рисунок 2 – Схематичне представлення загального рівняння для механічної швидкості буріння для шарошkových доліт

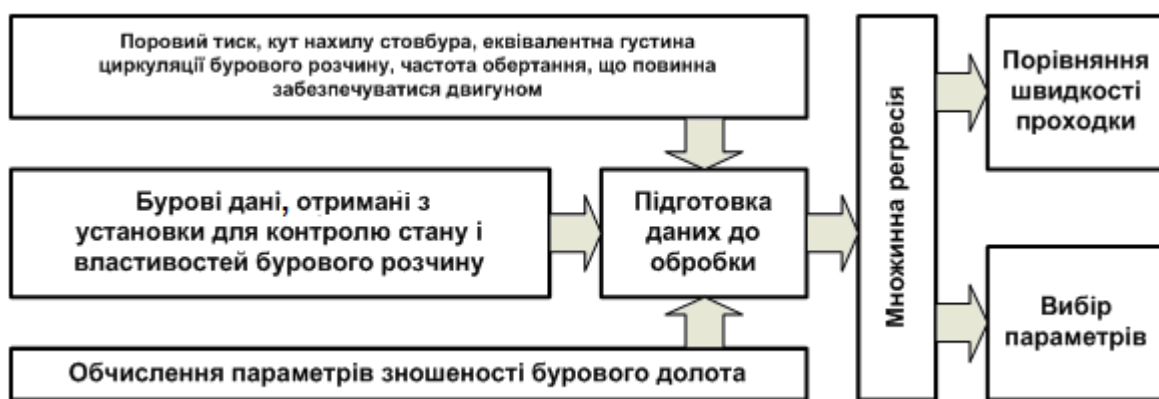


Рисунок 3 – Діаграма процесу оброблення даних

Проблеми процесу буріння свердловини, що виникають через неефективне використання параметрів і загалом мають місце на буровому майданчику, в більшості випадків можуть бути усунені. Прийняти ефективне рішення у процесі буріння можливо, якщо виходити з припущення, що використовувані бурове устаткування, компоновка низу бурової колони і долото згідно з існуючими установками в реальному часі вибрані ефективно. Так, для мінімізування вартості буріння долото повинно бути захищено від можливих ушкоджень при опусканні у свердловину.

Прийняття рішень базується на даних про параметри буріння, отриманих з установок для контролю за станом і властивостями бурового розчину. На рис. 3 подається діаграма процесу прийняття рішень. Згідно з діаграмою підготовка даних виконується з метою забезпечення ймовірно-можливої їх оцінки, базуючись на означеному загальному рівнянні для швидкості буріння.

Розраховують і включають до бази даних такі характеристики, як порівний тиск, нахил стовбура свердловини, густина циркулюючого бурового розчину, реологічні властивості бурового розчину та додаткова швидкість обертання бурового долота, яка повинна забезпечуватись

двигуном. Після збереження необхідних наборів даних до них застосовують статистичні засоби і визначають відповідні ймовірно-можливі оцінки. Визначені коефіцієнти використовуються для обчислення прогнозованих значень швидкості буріння і для визначення відповідних параметрів буріння. Структуризування процесів прийняття рішень у нафтогазовій предметній області продемонструвала ефективність застосування для досягнення необхідних значень контрольованих параметрів буріння. Найбільш загальною задачею є прийняття рішення щодо параметрів буріння. Дані, що використовуються для такого дослідження, отримані при фактичному бурінні. Відповідно задані параметрами буріння є параметри, що визначаються через відповідну ймовірно-можливу техніку з метою отримання мінімальних значень вартості буріння. Отримані результати показали, що існуючі значення вартості буріння можуть бути зменшені в реальному часі за умови, що будуть застосовані наперед визначені значення контрольованих параметрів буріння.

Застосування ймовірно-ймовірної техніки показало, що вона може ефективно функціонувати в процесі буріння, а також на етапі планування свердловин і розробки ефективних

сценаріїв буріння. Прогнозування ефективності механічної швидкості буріння повинно бути зроблене засобами знаходження коригуючих коефіцієнтів відповідно до гірської породи. Було показано, що зі збільшенням кількості даних збільшується якість результатів, отриманих на основі обчислюваних значень коефіцієнтів. У дослідженнях щодо прийняття рішень у процесі буріння прогнозування механічної швидкості буріння перед фактичним виконанням буріння проводиться не часто. Відповідно також рідко надаються рекомендації щодо параметрів бурового процесу. Для збору необхідних даних про процес буріння необхідно застосовувати сучасне обладнання контролю свердловини, а також застосовувати можливісно-ймовірнісну техніку, що детермінує константи, отримані в загальному рівнянні швидкості буріння.

Дослідження [23] базується на аналізі даних буріння, отриманих з різних бурових майданчиків. Згідно з таким підходом слід очікувати, що коефіцієнти в загальному рівнянні для швидкості буріння, отримані при застосуванні можливісно-ймовірнісної техніки, не будуть схожими для різних бурових майданчиків.

Підходи щодо дослідження гірської породи повинні бути адаптовані для задач прийняття рішень у процесі буріння. Кожна порода при її бурінні повинна бути ідентифікована, базуючись на відповідній можливісно-ймовірнісній техніці. Чим більший об'єм даних використовується, тим більш точні отримуються коефіцієнти.

Відповідні до гірської породи обчислювані можливісно-ймовірнісні значення матимуть деякий відносний вплив на загальну магнітуду швидкості буріння від однієї умови до іншої, враховуючи той факт, що кожна з умов чинить окремий вплив на характеристику швидкості буріння. Особливо важливим параметром є коефіцієнт міцності гірської породи, що розглядається як пов'язаний з впливом таких факторів: ефективність персоналу, властивості бурової установки, загальна якість бурового обладнання. Всі ці впливи можна розглядати як окремі функції для дослідження. Зрештою такий підхід дозволить досягнути означень для кожної породи в термінах можливісно-ймовірнісної техніки і ефективність шуканих значень швидкості буріння може бути порівняна, базуючись на даних коефіцієнтах разом з одночасним виконанням задач прийняття рішень у процесі буріння. Відповідно інші входження обчислюваних ймовірнісно-можливісних значень утримуватимуть магнітуду внаслідок впливів параметрів, які вони представляють.

Відповідно до процедури визначення коефіцієнтів для загальної швидкості буріння, прогнозовані магнітуди можуть бути побудовані при використанні означених магнітуд незалежних параметрів буріння. Було показано, що оператор технологічного процесу може погодитися щодо наперед визначеної ефективності механічної швидкості буріння, а також контролювати процес буріння, базуючись на фактичних даних.

Корекції були застосовані до набору даних під час його аналізу, що виконувався в ході прийняття рішень у реальному часі щодо параметрів буріння. Застосоване осьове зусилля на долото для кожної точки даних було перетворено у вертикальну складову шляхом урахування нахилу свердловини з можливістю його коригування. Додаткові значення швидкості обертання, що створюються двигуном, у випадку викривлених свердловин були включені в розрахунок для частоти обертання бурового долота. Дані коригування розглядаються як такі, що повинні сприяти процесам обробки даних і досягненню більш точних результатів.

Розривні тренди даних були усунені шляхом інтерполяції. Таким чином, наявні дані були інтерпольовані і було виконано відповідне взяття релевантних проб, до яких було застосовано ймовірнісно-можливісну техніку. Так було отримано більш точні прогнози для значень швидкості буріння.

Також обґрунтовано зниження загального часу обертання і, як наслідок, загального часу буріння без проведення фактичних бурових тестів. Відповідно, очікувана фактична вартість буріння буде меншою на 22%.

Дана методологія повинна бути модифікована для того, щоб бути придатною до застосування доліт з армованими полікристалічними синтетичними алмазами, які все частіше застосовуються для у випадку буріння похило-спрямованих свердловин. Генерування моделі, яка може ефективно працювати для прийняття рішень під час бурових операцій, є одним з важливих напрямів дослідження.

Рекомендується також у усіх випадках, коли виконується збір значень бурових параметрів, найбільшу увагу приділяти тому, щоб переконатися, що дані, які передаються, дійсно висвітлюють фактичну ситуацію при бурінні. Наприклад, в усіх випадках, коли застосовується статистичний підхід в термінах ймовірнісно-можливісної оцінки для певних бурових даних і відомо, що дані належать до викривленої свердловини. Вертикальна компонента значення осьового зусилля на долото повинна бути розрахована на те, що буде функцією кута нахилу для стовбура свердловини. Важливими факторами є розгляд сили опору у стовбурі свердловини і детальна геометрія для низу бурової колони.

Однією з найбільш важливих задач є визначення зношеності зубців для використовуваного долота. Відповідно розробка ефективного механізму дозволить отримати методологію, якщо технічно можливим є отримання миттєвих фактичних значень зношеності зубців долота в реальному часі. Також не менш важливим є розроблення механізму передачі таких фактичних даних щодо зношеності зубців безпосередньо з долота.

Висновки

Щоб реально допомогти користувачам при побудові максимально релевантних запитів, особливо у процесі забезпечення для них функціоналу, властивого для процедур інтелектуальної підтримки прийняття рішень, система повинна бути здатною надавати користувачу такий сервіс: корекція запиту; доповнення запиту, розширення його до більш широкого домену або системи обмежень, до вужчого але більш корисного домену, вужчої системи обмежень; забезпечення обґрунтованих альтернатив у термінах задоволення накладених обмежень; здійснення перевірки бази даних чи бази знань на наявність відповідного кейсу даних або кейсу знань; видача попередження користувачу у випадку досягнення ними певного стану в ієрархії систем обмежень; пояснення користувачу, чому в роботі системи мають (чи не мають) місце певні кейси та діалоги верифікації кейсів; виявлення можливих хибних уявлень і припущень користувача як наслідок задоволення або порушення певних базових множин та систем обмежень; запобігання хибним висновкам, які може зробити користувач на основі відповідей та рекомендацій системи, особливо в процесі підтримання прийняття рішень у режимі інтелектуального тренажера; робити відповіді системи більш зрозумілими користувачу в термінах активних діючих обмежень.

Намагаючись вирішити всі дані проблеми, завжди існує небезпека того, що система може сама нав'язувати діалог користувачу, змінюючи процес ППР на класичний експертний логічний висновок за наперед заданими цілями користувача. Тому важливим є утримування фокуса системи на тому, що є максимально релевантним до поточних інформаційних потреб користувача, які визначаються його активним профілем у кожний заданий момент часу. Це означає, що кожний конкретний користувач може хотіти одержати в даній конкретній ситуації вид підтримки, адаптований суто до нього, відповідно до його рівня компетенцій та його зони найближчого розвитку в рамках ПО, в той час, як інший користувач вже може не потребувати такого типу допомоги в тій самій контекстній ситуації. Все це вимагає створення засобів, орієнтованих на конкретного користувача (наприклад, оператора виділеного ТП), на противагу стандартним системам, які зовсім не враховують індивідуальні потреби користувачів, профілі яких ведуться в термінах обмежень щодо вираження релевантності за рівнем компетенцій та зоною найближчого розвитку, а отже, тільки очікують встановлення цілей для досягнення.

Література

- 1 Семенцов Г.Н. Автоматизація процесу буріння свердловин / Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 1998. – Ч. 1. – 300 с.
- 2 Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – 493 с.
- 3 Tsang E. Foundations of Constraint Satisfaction [Електронний ресурс] / E. Tsang // Academic Press. – 1993. – Режим доступу: <http://www.bracil.net/edward/FCS.html>.
- 4 Bartak R. Constrain tprogramming: a survey of solving technology / R. Bartak // AIR Onews. – 1999. – N IV. – P. 7–11.
- 5 Dechter R. A Constraint-Network Approach to Truth Maintenance / R. Dechter // Technical Report R-870009, Cognitive Systems Lab. – Computer Science Dept, UCLA. – 1987. – 16 p.
- 6 Юрчишин В. М. Інформаційне моделювання нафтогазових об'єктів: монографія / [Юрчишин В.М., Шекета В.І., Юрчишин О.В.]. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010. – 196 с.
- 7 Семенцов Г.Н. Математичний аналіз критеріїв відпрацювання доліт / Г.Н. Семенцов, М.І. Горбійчук, І.І. Чигур // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – № 2(6). – С. 25–28.
- 8 Ozbayoglu M.E. Minimization of Drilling Cost by Optimization of the Drilling Parameters / M.E. Ozbayoglu, C. Omurlu // 15th International Petroleum and Natural Gas Congress and Exhibition of Turkey, (Ankara, 11–13 May 2005). – Ankara, 2005. – P. 135–147.
- 9 Simmons E.L. A Technique for Accurate Bit Programming and Drilling Performance Optimization / E.L. Simmons // IADC/SPE 14784. Drilling Conference, (Dallas, TX, February 1986). – Dallas, TX, 1986. – P. 489–499.
- 10 John Z. Optimized Decision Making Through Real Time Access to Drilling and Geological Data from Remote Wellsites / Z. John, A. Ahsan, I.Reid // SPE 77855, SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and Exhibition (Melbourne, October 2002). – Melbourne, Australia, 2002. – P. 1–11.
- 11 Випасняк Л. І. Інтелектуалізація процедур аналізу даних нафтогазової предметної області засобами інформаційно-пошукових задач на основі обмежень / Л. І. Випасняк, В. І. Шекета, М. Я. Бестильний // Матеріали 12 міжнародного форуму «Радіоелектроніка і молодь в XXI столітті», (м. Харків, 1–4 квітня 2008 р.). – Харків, 2008. – С. 186.
- 12 Drilltronics: An Integrated System for Real-Time Optimization of the Drilling Process / R. Rommetveit, K.S. Bjorkevoll, G.W. Halsey [et al.] // IADC/SPE 87124, IADC/SPE Drilling Conference, (Dallas, Texas, 2–4 March 2004). – Dallas, Texas, 2004. – P. 160–171.
- 13 Mochizuki S. Real Time Optimization: Classification and Assessment / S. Mochizuki, L. A. Saputelli, C. S. Kabir // SPE 90213, SPE Annual Technical Conference and Exhibition (Houston, TX, September 2004). – Houston, TX, 2004. – P. 455–466.

- 14 Dupriest F. E. Maximizing Drill Rates with Real-Time Surveillance of Mechanical Specific Energy / F. E. Dupriest, W. Koederitz // IADC/SPE 92194, Drilling Conference (Amsterdam, February 2005). – Amsterdam, 2005. – P.1–10.
- 15 Monitoring and Control of Drilling Utilizing Continuously Updated Process Models / F. P. Iversen, E. Cayeux, E. W. Dvergsnes [et al.] // SPE 99207, IADC/SPE Drilling Conference, (Miami, Florida, February 2006). – Miami, Florida, 2006. –P.1–10.
- 16 Use of Real-Time Data at the Statfjord Field Anno 2005 / J. Milter, O.G.Bergjord, K. Hoyland [et al.] // SPE 99257, SPE Intelligent Energy Conference and Exhibition, (Amsterdam, Netherlands, April 2006). – Amsterdam, Netherlands, 2006. –P.31–38.
- 17 Optimize Drilling and Reduce Casing Strings Using Remote Real-Time Well Hydraulic Monitoring / E. Tollefsen, R. B. Goobie, S. Noeth [et al.] // SPE 103936, First International Oil Conference and Exhibition, (Cancun, Mexico, September 2006). – Cancun, Mexico, 2006. – P.1–13.
- 18 Monden T. Operation Support Centers – Real Time Drilling Optimization and Risk Mitigation / T. Monden, C.R. Chia // SPE 110950, SPE Saudi Arabia Technical Symposium (Dhahran, May 2007). – Dhahran, 2007. –P.1–9.
- 19 Remmert S. M. Implementation of ROP Management Process in Qatar North Field / S. M. Remmert, J. W. Witt, F. E. Dupriest // SPE 105521, SPE/IADC Drilling Conference (Amsterdam, February 2007). – Amsterdam, 2007. – P. 113–122.
- 20 Strathman M. Time-Based Real-Time-Drilling-Operations Excellence Delivered / M. Strathman, D. Elley, N. Meirerhoefer // SPE 107303, SPE Digital Energy Conference and Exhibition, (Houston, TX, April 2007). – Houston, TX, 2007. –P.203–206.
- 21 Offshore Field Test of a New Integrated System for Real-Time Optimization of the Drilling Process / F.P. Iversen, E. Cayeux, E. W. Dvergsnes [et al.] // IADC/SPE 112744, IADC/SPE Drilling Conference held in Orlando, (Florida, USA, 4–6 March 2008). – Florida, USA, 2008. – P. 518–530.
- 22 Шекета В.І. Інтелімедійна інформаційна система підтримки прийняття рішень в процесі буріння / В.І. Шекета, В.Д. Мельник, Л. І. Гобир // Проблеми інформаційних технологій. – 2016. – № 19. – С. 96–116.
- 23 Оптимизация размещения и порядка бурения многоствольных скважин в процессе мониторинга разработки Кравцовского месторождения / В. Ф. Сомов, В. З. Минликаев, В. М. Десятков [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2006. – № 5. – С. 92–97.

Стаття надійшла до редакційної колегії

14.12.17

*Рекомендована до друку
професором **Олійником А.П.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
д-ром техн. наук **Кузем М.В.***

*(Івано-Франківський університет права
імені Короля Данила Галицького,
м. Івано-Франківськ)*