

## ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ У ПРОЦЕСІ БУРІННЯ

*В.І. Шекета, М.М. Демчина, В.Д. Мельник*

ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (066) 6311937;  
e-mail: demchyna@i.ua

*Розроблена методологія прийняття рішень в процесі буріння в реальному часі продемонструвала ефективність застосування для досягнення необхідних значень контрольованих параметрів буріння. Дані, що використовуються для такого дослідження, отримані в процесі буріння. Оптимально заданими параметрами буріння є параметри, що визначаються на основі відповідних процедур видобування знань та даних про процес буріння з метою отримання мінімальних значень вартості процесу буріння. Отримані результати довели, що існуючі значення вартості буріння можуть бути зменшені в реальному часі за умови, що будуть застосовані наперед визначені значення контрольованих параметрів буріння. З метою прийняття рішень на основі фактичних польових параметрів необхідною є розробка комп'ютерної мережі, яка отримуватиме дані безпосередньо з джерел даних в формі датчиків. Таким чином, програмне забезпечення бази даних на сервері буде послідовно розраховувати параметри розробленої моделі на основі бази знань в формі асоціативних правил, про що повідомлятиме операторів бурової. Відповідно оператор буде передавати поточні бурові параметри назад на сервер, і в центрі розробки визначатимуться параметри нової моделі, а також параметри буріння, із врахуванням щойно отриманої інформації. Показано, що прийняття рішень на основі параметрів буріння в режимі реального часу є перспективним напрямком, оскільки це дає змогу зменшувати вартість процесу буріння, а також мінімізувати ймовірність виникнення аварійних ситуацій саме завдяки використанню контрольованих параметрів.*

Ключові слова: прийняття рішень, буріння свердловин, контрольовані параметри, джерела даних, сервер бази бурових даних, оператор бурової, контроль в режимі реального часу, графі знань, асоціативні правила.

*Разработанная методология принятия решений в процессе бурения в реальном времени продемонстрировала эффективность применения для достижения требуемых значений контролируемых параметров бурения. Данные, используемые для такого исследования, получены при фактическом бурении. Оптимально заданными параметрам бурения являются параметры, которые определяются по результатам соответствующих процедур извлечения знаний и данных о процессе бурения с целью получения минимальных значений по стоимости процесса бурения. Полученные результаты показали, что существующие значения стоимости бурения могут быть уменьшены в реальном времени при условии, что будут применены заранее определенные значения контролируемых параметров бурения. С целью принятия решений по фактическим полевым параметрам необходима разработка компьютерной сети с целью получения данных непосредственно из источников данных в виде датчиков. Таким образом, программное обеспечение базы данных на сервере будет последовательно рассчитывать параметры разработанной модели на основе базы знаний в форме ассоциативных правил, о чем будет информировать операторов буровой. Соответственно оператор будет передавать текущие буровые параметры обратно на сервер, и в центре разработки будут определяться параметры новой модели, а также параметры бурения с учетом новой информации. Показано, что принятие решений, которое основывается на параметрах бурения в режиме реального времени, является перспективным направлением, поскольку это позволяет уменьшать стоимость процесса бурения, а также минимизировать вероятность возникновения аварийных ситуаций именно благодаря использованию контролируемых параметров.*

Ключевые слова: принятие решений, бурение скважин, контролируемые параметры, источники данных, сервер базы буровых данных, оператор буровой, контроль в режиме реального времени, графы знаний, ассоциативные правила.

*The developed methodology of decision making in the process of drilling in real time environment showed the effectiveness of controlled drilling parameters application for achieving of necessary values. The data used for this study were obtained during the process of drilling. The optimally preset drilling parameters are the parameters that are defined on the basis of the corresponding acquisition procedures of knowledge and data about drilling process with the objective of getting the minimal indexes of drilling costs. The final results showed that existing cost indices of drilling can be reduced in real time mode on the condition that the beforehand defined values of controlled drilling parameters will be applied. In order to make decisions based on real field parameters there is a need to develop a computer network which will be able to receive data directly from the data sources in the form of sensors. Thus, the software that controls databases on the server will subsequently calculate the designed model parameters on the basis of the knowledgebase in the form of content rules and all result would be transmitted for rig operators. Correspondingly, the operator will transmit the current drilling parameters back to the server and new model parameters and drilling parameters in general with taking into account the newly obtained information will be determined in the development center. It was shown that decision making based on the drilling parameters in the real time mode is a promising trend, because it allows to substantially reduce the drilling cost and to minimize the probability of emergency situation upraise due to utilizing these controlled parameters.*

Keywords: decisions making, well drilling, controlled parameters, data sources, drilling database server, drilling rig operator, real time control, knowledge graph, content rules.

**Вступ.** Прийняття рішень в режимі реального часу за параметрами процесу буріння має на меті контроль осьового зусилля на долото та швидкості обертання долота для отримання максимальної механічної швидкості буріння і мінімальної вартості буріння. Даний процес розглядається як специфічний стосовно гірської породи (процес контролю параметрів процесу буріння залежить від типу гірської породи). Для виконання даного дослідження проведено огляд літературних джерел з проблем прийняття рішень в процесі буріння. Використано фактичні польові дані, отримані за допомогою сучасних засобів моніторингу свердловин, а також засобами систем збору даних, що дає змогу прогнозувати швидкість буріння як функцію від наявних параметрів. Таким чином, загальне рівняння швидкості буріння може бути задано в кожній новій точці отримання даних. Швидкість буріння може бути змодельована в середовищі реального часу як функція незалежних змінних (параметрів буріння), таких як осьове зусилля на долото, швидкість обертання бурильної колони, густина бурового розчину і характеристики гірської породи. Можливість отримувати відповідну швидкість буріння залежно від глибини з врахуванням 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 в режимі реального часу.

**Аналіз стану досліджень та публікацій.** Прийняттю рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин присвячено ряд досліджень [1–15]. Вважається, що технологічний процес буріння є ефективним, якщо наперед вибрано такий діапазон зміни параметрів буріння (змінних буріння), що дозволить максимізувати швидкість буріння або мінімізувати вартість буріння. Також ряд дослідників вважає, що потреба та кількість досліджень в області прийняття рішень у процесі буріння збільшуватиметься з посиленням вимог щодо процесу буріння. Початкові дослідження, що виконувалися в області прийняття рішень в процесі буріння, були зосереджені на виборі параметрів з точки зору максимальної ефективності гідравлічної системи. В той же час, на думку багатьох фахівців та операторів-бурильників, найбільш важливим фактором, що впливає на проходку, є саме вибір бурового долота, і даний процес може бути реалізований тільки методом проб і помилок. Більшість описаних в джерелах досліджень розглядають саме статичний випадок підвищення ефективності процесу буріння, при якому для параметрів процесу буріння вимагалися дослідження поза межами бурового майданчика і, таким чином, йшлося про прийняття рішень щодо подальших технологічних операцій процесу буріння. З точки зору новітніх технологій, така статичність була зумовлена відсутністю можливості пере-

дачі даних в реальному часі. Моделювання очікуваної швидкості буріння і виконаний аналіз даних процесу буріння з метою вибору осьового зусилля на долото, швидкості обертання долота і гідравліки долота включає такі параметри: 1) міцність гірської породи; 2) глибина гірської породи; 3) щільність гірської породи; 4) перепад тисків вздовж вибою свердловини; 5) діаметр долота; 6) осьове зусилля на долото; 7) швидкість обертання долота; 8) ступінь зношеності долота; 9) гідравліка долота. Основним результатом дослідження є висновок, що процедура аналізу може бути використана для систематичної оцінки багатьох констант в рівнянні для механічної швидкості буріння. При цьому для ефективного оцінювання констант слід використовувати джерела даних з багатьох свердловин.

Аналіз контрольованих змінних процесу буріння, що чинять вплив на швидкість буріння, дає змогу виділити як фактори цього впливу витрату бурового розчину, осьове зусилля на долото, швидкість обертання долота, тип долота та його гідравліку. Таким чином, відповідний вибір контрольованих змінних є основним фактором суттєвого покращення швидкості буріння. В проаналізованих роботах було також виведено концепцію верхньої границі швидкості буріння або «технічної границі», яка не може бути перевищена без ризиків щодо безпеки технологічного процесу. Наприклад, вибране значення ваги бурового розчину повинно бути не меншим за вагу флюїду, яка отримуватиметься в результаті викиду і руйнування стовбура свердловини. Таким чином, параметри осьового зусилля на долото та кількості обертів за хвилину повинні мати максимальні значення, з огляду на мінімізацію вартості експлуатації долота і з погляду на забезпечення стабільності бурової колони. Відповідно, розхід промивальної рідини повинен бути вибраний шляхом аналізу гідравліки долота і методів очищення вибою свердловини.

Математичне обґрунтування прийняття рішень щодо параметрів буріння виконується з метою обчислення прогнозованої мінімальної вартості процесу буріння. Для цього розглядаються такі параметри, як: осьове зусилля на долото, швидкість обертання, тип долота, зношеність бурового долота, гідравліка долота, як такі, що чинять безпосередній вплив на механічну швидкість буріння. Визначено аналітичне рівняння вартості буріння виведене із рівняння механічної швидкості буріння. Представлено також системи прийняття рішень щодо параметрів буріння на основі актуальних фактичних польових даних. Прийняття рішень щодо вибору даних параметрів було виконано на основі запропонованих рівнянь та математичних моделей. Отримані результати базуються на застосуванні всіх можливих засобів з метою оптимізації значень параметрів буріння на буровому майданчику. При цьому можливість передавання даних з місця розміщення бурової установки залежить від наявності технічних засобів віддаленої передачі даних на сервер, що

стало можливим тільки з появою новітніх рішень в області програмного та апаратного забезпечення комп'ютерних технологій, що застосовуються в галузі автоматизації процесів буріння. За результатами аналізу досліджень робиться висновок про те, що поєднання сучасних технологічних ІТ-рішень і засобів бурової інженерії для вирішення задачі прийняття рішень у процесі буріння в реальному часі гарантовано даватиме економію часу чистого буріння, підвищуватиме його ефективність, зменшуватиме шкідливі впливи на гірську породу, а також гарантовано даватиме економію загальних витрат на процес буріння.

Веб-базовані системи передачі даних забезпечують шифрування даних та підтримують високу швидкість їх передачі в реальному часі, що формує новий тренд в технологіях буріння, який стосується, насамперед, процедур прийняття рішень. Було також показано, що вказаний процес прийняття рішень потребує використання найкращого та найбільш ефективного експертного досвіду, а також ефективних методів передачі релевантних даних з та на буровий майданчик.

Використання операторами технологічного процесу найбільш новітніх технологій класу «виконання технологічних операцій в режимі реального часу» базується на виконанні ряду пілотних тестів з дослідження свердловин, що дозволило розробити кращі комунікаційні протоколи, більш ефективні експертні методи, об'єктивні методи простої оцінки та персоналу. Було показано, що процес прийняття критичних рішень в процесі буріння нафтових і газових свердловин є комплексним та мультидисциплінарним в своїй основі і вимагає ефективної інтеграції та взаємодії всіх технічних і технологічних ресурсів та персоналу. Зроблено висновок, що навіть в такому складному технологічному процесі, як буріння, можна забезпечити штатний перебіг технологічних операцій і відповідно ефективно попереджувати виникнення аварійних ситуацій.

Новітні інноваційні системи автоматизації і контролю процесу буріння використовують всі доступні та наявні дані про процес буріння як з поверхні, так і з вибою свердловини для прийняття рішень в процесі буріння. Одним із найбільш важливих модулів даної системи є модуль прийняття рішення щодо швидкості обертання долота та осьового зусилля на долото, який дозволяє регулювати швидкість обертання долота і осьове зусилля на нього, а також відслідковувати, на скільки відповідні зміни впливають на механічну швидкість буріння. Також вказано, що попередження проявів стрибкоподібної подачі шляхом застосування одного із запропонованих наборів алгоритмів, дозволяє підвищити механічну швидкість буріння на 15-30%.

Категоризовані компоненти технології прийняття рішень в реальному часі доводять ефективність даної технології для новітніх методик буріння. Більшість досліджень базуються на аналізі фактичних даних, що дало змогу оці-

нити вплив та фактичну цінність систем прийняття рішень в режимі реального часу. Було також показано, що основна складність систем прийняття рішень в режимі реального часу полягає в тому, що вона включає людський фактор та фактор технології і компоненти технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин. В результаті було запропоновано інструменти для оцінки потенційної економії коштів та часу, а також описано технологічні компоненти для їх реалізації. Вказана категоризація технологічних компонент використовує діаграми, що описують процес економічної оцінки.

Функціонування системи, що забезпечує передавання даних в режимі реального часу на сервер підтримки процесу буріння, має на меті передавання даних та перевірку їх якості релевантними мультидисциплінарними фахівцями в режимі реального часу на основі високошвидкісного Інтернет-з'єднання. В даному випадку прийняття рішень базуватиметься на судженнях, включених у процес експертів, що, в свою чергу, технічно і технологічно зводиться до оцінювання наявного в них експертного досвіду. Основним результатом в даному випадку є те, що завдяки можливості передавання даних в режимі реального часу засобами автоматизованих систем контролю, може бути суттєво зменшена кількість аварійних ситуацій, і відповідно, кількість примусових закриттів свердловини, а також регулярність та регламентованість технологічних операцій.

Існуючі підходи керування механічною швидкістю буріння в реальному часі використовують технологію налаштовуваного контролю для послідовно стабільної максимізації ефективності відколювання уламків породи буровим долотом і передавання енергії від підлоги бурової вежі до долота. Основні удосконалення, що пропонуються, полягають у підвищенні гідравлічної потужності для зменшення ефекту впливу шлему 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.

Застосовувані алгоритми прийняття рішень в процесі буріння використовують параметри реального часу для шарошок твёрдосплавної коронки. Існуючі методології складаються з кроків в яких оцінюється осьове зусилля на долото при заданій механічній швидкості буріння, а за методом кореляції оцінюється швидкість обертання бурової колони і параметри осьового зусилля на долото. Параметр вибирається за умови найменшої вартості процес буріння.

Таким чином, можливість динамічного прийняття рішень забезпечується комунікаційними можливостями комп'ютерних технологій в реальному часі. Новітні дослідження в області систем реального часу є основою реалізації задач прийняття рішень щодо технологічних процесів, пов'язаних з бурінням. Тому, на увагу заслуговує мало досліджене питання інтелекту-

алізації рішення даних задач, що особливо актуально в умовах неповноти, неточності та розмитості даних про технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин.

**Метою даної статті** є розроблення стратегії та введення формальних засобів, орієнтованих на знання для інтелектуалізації процедур прийняття рішень у процесі буріння нафтових і газових свердловин.

**Виклад основного матеріалу.** Як свідчить виконаний огляд літературних джерел, існує багато деталізованих і ефективних досліджень в області прийняття рішень у процесі буріння, більшість з яких спрямовані на зменшення вартості процесу буріння. На початкових етапах розвитку технології буріння через недосконалість комунікаційних систем, такі дослідження полягали в обробці зібраних вручну даних з метою їх подальшого аналізу. Використовуючи досягнення в області систем збору даних та беручи до уваги значні успіхи в їх комунікаційному сегменті, стала можливою передача даних безпосередньо з бурового майданчика. Виходячи з таких апаратних рішень, новітні дослідження були спрямовані на обробку наявних даних, що стало підґрунтям створення систем прийняття рішень в процесі буріння. При цьому підходи щодо прийняття рішень в основному полягали у покращенні ефективності роботи персоналу бурової установки, або базувались на параметрах, які давали найкращу ефективність у виділеному сегменті даних. Проте, також важливим був той факт, що такі підходи не розглядали багато факторів, які з високою ймовірністю могли мати суттєвий вплив на загальний процес підвищення механічної швидкості буріння. Однією з основних проблем розробки нафтових і газових родовищ є питання отримання прийнятної вартості буріння нафтових і газових свердловин. Таким чином, основне завдання полягатиме в розробленні методів і засобів зниження загальної вартості, підвищення загальної ефективності і зменшення ймовірності виникнення аварійних ситуацій в технологічному процесі буріння. Крім того, дану проблему слід розглядати в контексті значних технологічних інновацій в області буріння, що мали місце в останні десятиліття. Сучасні технології дозволяють проводити безпечно, дружні до навколишнього середовища і ефективні щодо вартості розробки свердловин. Найбільш важливими серед новітніх технологій буріння є саме комунікаційні і комп'ютерні технології, що дають змогу якнайефективніше вирішувати задачі прийняття рішень в процесі буріння. Все це разом дозволяє нагромаджувати та обробляти великі масиви даних у вигляді баз даних (в тому числі і віддалених), завдяки чому можливо вирішувати комплексні задачі, в тому числі задачі підвищення ефективності процесу буріння.

Від самого початку розвитку технологій буріння оператори технологічного процесу шукали шляхи та засоби зменшення вартості буріння, насамперед через підвищення швидкості

буріння. В нафтогазовій промисловості перша свердловина, пробурена на новому родовищі, матиме найвищу вартість. У міру розробки родовища зростає кількість інформації про нього, що дозволяє реалізувати техніку ефективного прийняття рішень в процесі буріння, що відповідно, знижує вартість кожної наступної свердловини. Вважається, що на певному етапі розробки буде досягнута точка, після якої неможливо буде внести жодних суттєвих покращень в технологічний процес буріння. Основним завданням, виходячи з комплексності відношення між параметрами процесу буріння, є визначення тієї комбінації операційних технологічних умов, за якої можливо отримувати мінімальну вартість буріння. Таким чином, основним напрямком правильного планування буріння свердловини є підвищення якості технологічних операцій і мінімізація загальних витрат. Іншим важливим аспектом прийняття рішень є покращення загальної технології буріння і підвищення загальної ефективності системи. Крім того, важливим фактором забезпечення безпеки доквілля є максимально можливе уникнення аварійних технологічних ситуацій.

Таким чином, причина все більшої уваги нафтогазових компаній до підвищення ефективності роботи операторів на бурових майданчиках зумовлюється, перш за все, фактором вартості та фактором максимального уникнення аварійних ситуацій. На сьогоднішній день, коли вартість вуглеводневих ресурсів досягла свого піку, зростає також і вартість бурового обладнання, витрати на оплату праці і тощо. Тому як один з ефективних шляхів досягнення рентабельності розглядається саме шлях підвищення ефективності технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин, яке зокрема досягається за рахунок застосування технології кластеризації та технології спрямованого буріння, з можливістю отримання куша свердловин з одного обмеженого в площі майданчика. Це дає змогу уникати додаткових витрат на побудову окремих технологічних структур для кожної свердловини. При встановлених параметрах буріння найбільш важливий вплив на зниження вартості буріння матиме саме факт близького розміщення свердловин, що полягатиме в можливості ефективної реалізації збору та обробки даних.

Основні параметри буріння, які розглядаються як такі, що мають вплив на фактор механічної швидкості буріння, не є повністю зрозумілими та дослідженими і відповідно розглядаються як надто комплексні, з точки зору побудови ефективних моделей. Тож не існує точної математичної моделі, яка б описувала механічну швидкість буріння для роторного буріння. Однак, існує ряд математичних моделей, які поєднують відомі можливі відношення параметрів буріння. Такі моделі створені для підвищення ефективності буріння шляхом вибору, наприклад, найкращого значення осьового зусилля на долото і швидкості обертання долота для досягнення мінімальної вартості процесу буріння. Таким чином, було досягнуто значне



Рисунок 1 – Етапи розвитку технологій процесу буріння нафтових та газових свердловин

зниження вартості буріння за рахунок створених математичних моделей.

Також важливо мати на увазі, що властивості гірської породи, які не контролюються системою, є одним з вирішальних факторів щодо оцінки ефективності буріння. Властивості бурового розчину та тип бурового долота хоча і є контрольованими параметрами, але в більшості методик буріння вони не змінюються в стандартних режимах роботи долота. В той же час гідравлічні характеристики, осьове зусилля на долото, швидкість обертання бурового долота, швидкість обертання бурової колони належать до одних з найбільш контрольованих факторів.

Протягом початкового періоду розвитку технологій роторного буріння були розроблені різні види та типи доліт для роторного буріння, види обсадних колон, техніки цементування і різноманітні типи бурових розчинів. Розвиток відбувався в напрямі збільшення потужності бурових установок, покращення якості бурових доліт, покращення ефективності цементування і побудови методик роботи з буровими розчинами. В результаті досліджень технологічних процесів буріння було визначено основні принципи роботи гідравлічної системи, суттєво покращено технологію бурових доліт, покращено технологію побудови та застосування бурових розчинів. Як один з основних результатів розвитку технології буріння слід розглядати впровадження методів ефективного прийняття рішень. Все це призвело до використання автоматизованих та комп'ютеризованих систем із здатністю контролювати параметри буріння в технологічних процесах буріння нафтових і газових свердловин.

На рис. 1 представлено огляд основних етапів розвитку технології буріння. В ньому наведено аналітичні оцінки поєднань осьового зусилля на долото і швидкості обертання долота з метою виведення емпіричних математичних виразів для очікувань щодо життєвого циклу долота, а також щодо механічної швидкості буріння як функції глибини, швидкості обертання долота і осьового зусилля на долото. Графові представлення і процедури для польових застосувань уможливають визначення ефективних поєднань бурових параметрів. Використання лінійної моделі швидкості буріння і виконання аналізу для вибору параметрів буріння шляхом використання формули мінімальних витрат свідчить, що максимальне значення механічної швидкості буріння може збігатися з підходом мінімальної вартості, якщо ігнорувати накладені технологічні обмеження. Зокрема було розвинуто техніку буріння, в якій персонал бурової міг приймати рішення щодо процесу буріння безпосередньо на буровому майданчику, базуючись на розроблених графових шаблонах і рівняннях.

Існуючі методики дозволяють ідентифікувати найкращу з можливих конструкцій свердловини з точки зору її ефективності. Техніки прийняття рішень в процесі буріння досліджують граничні значення підвищення можливої ефективності. На наступному етапі були розроблені техніки моніторингу в реальному часі, що уможливили віддалений моніторинг параметрів буріння. Подальшим розвитком даної технології стало впровадження центрів підтримки технологічних операцій в реальному часі. Також отримали розвиток новітні техніки моні-

торингу параметрів буріння безпосередньо на буровому майданчику.

Проте, вважається, що розвиток всіх даних технік та технологій базується на початкових результатах, отриманих в системах роторного буріння. Зокрема дані технології дозволяють виконувати роторно-кероване похиле буріння, контрольоване тиском буріння та ін. Особливістю новітніх технологій буріння є те, що вони базуються на розвинутих засобах верифікованого доступу до параметрів буріння, доступних методів їх зберігання і віддаленої передачі в режимі реального часу. Технологічна реалізація такого підходу у вигляді систем автоматичного збору даних з бурового майданчику і їх передача на сервер відкрила нові перспективи щодо автоматизації процесу буріння і відповідних сервісних функцій його контролю. Основу такого підходу складає аналіз даних отриманих в процесі буріння спрямованих свердловин. Основним завданням в процесі такого буріння є досягнення заданих рівнів дебіту вуглеводнів з відносно високими кутами нахилу стовбура свердловини.

Завдяки новітнім комп'ютерним та комунікаційним технологіям в процесі буріння нафтових і газових свердловин, великі масиви даних передаються з бурових майданчиків для їх подальшого аналізу. Важливість даної процедури зумовлюється тим, що фактичні дані є єдиним джерелом інформації для прийняття рішень щодо бурових операцій. Сучасні установки контролю процесу буріння дозволяють виконувати вимірювання режимних параметрів буріння (механічна швидкість буріння, осьове зусилля на долото, число обертів за хвилину, розхід промивальної рідини); реєструвати властивості бурового шламу; передавати і реєструвати отримані під час буріння дані; виконувати моніторинг процесу буріння на буровому майданчику і/або на віддаленому терміналі.

Кожен параметр з бурового майданчику повинен бути інформативним, щодо впливу на загальний досліджуваний процес. При цьому слід виходити з того, що надійність і точність даних є дуже важливою, що на практиці вимагає високої точності усіх датчиків, оскільки загальний успіх процесу буріння залежатиме від якості знятих значень параметрів буріння. До основних параметрів, які описують активність процесу буріння, відносяться: осьове зусилля на долото, швидкість обертання долота, параметри бурового насоса, глибина свердловини, кут нахилу свердловин, азимут свердловини, механічна швидкість буріння, властивості бурової колони, властивості обсадної колони, властивості бурового розчину, крутний момент, зусилля на гак, передбуровий каротаж, каротаж під час буріння.

Оскільки, визначені параметри є важливими в процесі прийняття рішень, то наведемо короткі означення основних параметрів процесу буріння.

**Осьове зусилля на долото** – це зусилля, яке прикладається до долота і через нього передається на гірську породу, з метою її руйну-

вання та визначається шляхом вимірювання натягу талевого канату за допомогою відповідного давача. Виміряне таким чином значення осьового зусилля є сумарною вагою, яка включає в себе вагу бурильної колони, вагу кронблоку і вагу приводу бурового долота.

**Швидкість обертання долота.** Даний параметр позначає характеристику «обертів за хвилину» і є швидкістю обертання бурильної колони. Після впровадження автоматизованої системи привода бурового долота, зчитування параметра є фактично задачею електронного вимірювального блоку, точність якого залежить від налаштувань системи.

**Параметри насоса.** Залежать від розміру використовуваного хвостовика, числа ходів поршня бурового насоса і тиску нагнітання. За наявності двох насосів, що працюють одночасно, необхідно отримувати одночасно дані з обох насосів. У випадку використання електричних насосів кількість ходів поршня відповідає частоті обертання ротора двигуна. Якщо вимірюється тиск, що створюється насосом, то його значення порівнюється із тиском в циліндричному резервуарі. При цьому важливим є те, що створюваний насосом тиск повинен завжди бути більшим за тиск в циліндричному резервуарі. Для вимірювання витрати промивальної рідини використовуються витратоміри, які розміщуються на виході бурового насоса.

**Глибина свердловини.** Значення глибини, або іншими словами позиція бурового долота є типовим вхідним значенням для автоматизованої установки контролю процесу буріння. Дане значення контролюється оператором і визначається позицією блоку засобами датчиків, розміщених на кронблочі.

**Кут нахилу та азимут.** Значення цих параметрів визначаються буровим майстром під час проведення каротажних досліджень. Дані параметри є важливими з точки зору забезпечення стабільності свердловини, і їх точність напряму залежить від якості ліній передачі даних з вибою свердловини на буровий майданчик.

**Механічна швидкість буріння.** Цей показник є найбільш важливим параметром, оскільки всі розрахунки базуються на оцінках механічної швидкості буріння. Дана характеристика вимірюється через оцінку зміни позиції талевого блоку в часі. Відповідно, точне калібрування давача швидкості руху талевого блоку є дуже важливим, з точки зору отримання коректного значення параметру механічної швидкості буріння.

**Властивості бурової та обсадної колони.** Є важливими для обчислення втрати напору бурового розчину від тертя в трубі.

**Властивості бурового розчину.** Реологічні властивості і густина бурового розчину – серед найбільш важливих параметрів, значення яких використовуються з метою прийняття рішень в процесі буріння. В більшості випадків густина бурового розчину вимірюється на основі каліброваних густиномірів. Вимірювання реологічних властивостей відбувається в ручному ре-

жимі. Новітні розробки в трубних віскозиметрах реального часу дозволяють будувати альтернативні рішення в даній області. Зокрема, існує ряд експериментальних досліджень в лабораторних умовах з використанням трубних віскозиметрів. Застосування таких технологій дозволяє підвищити якість отриманих даних, що стосуються реологічних властивостей бурових розчинів в реальному часі.

**Крутний момент.** Даний параметр представляє крутний момент бурильної колони під час її обертання. Він вимірюється через датчик, розміщений на приводі бурового долота. До недавнього часу вимірювання даного параметру було досить відносним, що відповідно обмежувало його використання. На сьогоднішній день, даний параметр набуває все більшої важливості для похилих і викривлених свердловин, оскільки його значення напряму пов'язане ефективністю очистки стовбура свердловини.

**Каротаж під час буріння.** Параметри, що мають відношення до гірської породи (твердість, пластовий тиск, пластова температура, водонасиченість), можуть бути отримані у процесі буріння засобами каротажних досліджень і використані під час прийняття рішень.

Фактори, що мають вплив на механічну швидкість буріння, поділяються на два основні класи: контрольовані і пов'язані з навколишнім середовищем. Контрольованими факторами можуть бути безпосередньо змінені, а саме, осьове зусилля на долото, швидкість обертання долота, гідравлічні властивості. Фактори навколишнього середовища, з іншого боку, не можуть бути контрольованими. Це такі фактори, як властивості гірської породи та вимоги щодо бурового розчину. Причина того, що буровий розчин розглядається як фактор середовища, полягає в тому, що необхідна певна його густина для того, щоб досягти відповідних цілей, наприклад таких, як отримання достатнього залишкового тиску для уникнення потрапляння флюїдів з гірської породи у стовбур свердловини. Іншим важливим фактором є ефект загальної гідравліки, що має відношення до всіх технологічних операцій процесу буріння, який, в свою чергу, знаходиться під впливом багатьох інших факторів, таких як: літологія, тип бурового долота, тиск на вибої, температурні умови, реологічні властивості бурового розчину, а також параметрів процесу буріння загалом. Таким чином, ефективність механічної швидкості буріння залежить і є функцією як контрольованих факторів, так і факторів зовнішнього середовища. Результати досліджень показують, що механічна швидкість буріння в загальному збільшується із зменшенням значення параметра густини циркулюючого бурового розчину.

Іншою важливою умовою контролю механічної швидкості буріння є спосіб виведення бурового шламу. Аналіз впливу способу виведення шламу на параметри буріння в процесі буріння горизонтальних і похилих свердловин свідчить, що середня витрата бурового розчину в затрубному просторі є домінуючим параметром

щодо транспортування бурового шламу, тобто чим вищою є витрата промивальної рідини, тим менший об'єм осаду бурового шламу. Проте механічна швидкість буріння і нахил стовбура свердловини більше 70 градусів не має жодного впливу на товщину шламового осаду. В той же час, густина бурового розчину має невеликий вплив на збільшення шламового осаду. Відповідно, зі зростанням в'язкості бурового розчину спостерігається зменшення видалення осаду бурового шламу. Зростаючі значення ексцентричності позитивно впливають на видалення шламового осаду. Як свідчить досвід, чим менший розмір частинки шламу, тим складніше видалити шламовий осад. Тому зрозуміло, що турбулентний потік краще запобігає утворенню шламового осаду.

Одним з найбільш важливих аргументів, з точки зору ефективного транспортування шламу з стовбура свердловини, є прийняття до розгляду факторів, зведених до таблиці 1.

**Таблиця 1 – Фактори ефективного очищення стовбура свердловини**

№ з/п	Назва фактору
1	Кут нахилу свердловини
2	Розхід бурового розчину
3	Властивості бурового розчину (реологія, густина)
4	Розмір бурового шламу, його форма і концентрація
5	Розмір затрубного простору
6	Швидкість обертання та ексцентричність бурильної труби
7	Режим руху бурового розчину (ламінальний, турбулентний)

Таким чином, основними характеристиками ефективності буріння при роторному бурінні є не тільки ефективне подрібнення породи на дні, але також видалення шламу з площини гірської виробки деяким безпосереднім і ефективним способом з метою забезпечення подальшого подрібнення гірської породи і прогресу технологічного процесу буріння загалом. Відповідно до комплексності розуміння механізму механічної швидкості буріння, в технологічних операціях буріння на початкових етапах розвитку технологій буріння було адаптовано емпіричні підходи, шляхом квантифікації впливу контрольованих параметрів на ефективність механічної швидкості буріння. Такий підхід виявився більш ефективним, ніж імплементація аналітичної моделі, яка описувала механічну швидкість буріння.

Згідно з середньостатистичними даними відомо, що час витрачений на буріння свердловин, до 30% складається з часу обертання бурової колони від загального часу спорудження свердловини. Таким чином, прийняття рішень щодо механічної швидкості буріння розглядається як важливий фактор зменшення витрат на процес буріння.



В даному контексті важливе значення має також розгляд характеристик гірської породи, в якій виконується буріння. Для отримання ефективних результатів слід виходити з припущення про те, що всі властивості гірської породи впливатимуть на механічну швидкість буріння і, таким чином, можуть розглядатися як об'єкти, на основі яких приймаються рішення.

Наступні припущення розглядаються як такі, що повинні задовольнятися в технологічному процесі буріння нафтових і газових свердловин:

1) досягнення ефективного очищення вибою свердловини;

2) правильний вибір поєднання бурового долота та компоновки низу бурової колони відповідно до гірської породи;

3) інтервал гірської породи, що буриться, розглядається як однорідний;

4) бурова установка і допоміжне обладнання повинні працювати максимально ефективно.

Основною задачею модельованої проблеми є збір даних процесу буріння з різних бурових майданчиків у режимі реального часу і збереження їх на центральному сервері. Для виконання даної задачі необхідний механізм фільтрації даних. Для кожної окремої гірської породи збережені дані можуть бути використані з метою застосування техніки оцінки характеристики механічної швидкості буріння. Дані перед процесом їх обробки (сирі дані) розглядаються як такі, що дають більш точні результати, якщо в них внести корекцію щодо осьового зусилля на долото, приймаючи до уваги нахил стовбура свердловини і швидкість обертання долота, що забезпечується двигуном. Визначені параметри буріння при їх застосуванні дозволять знизити витрати коштів, пов'язані з процесом буріння. При цьому, важливою є не тільки ідентифікація параметрів буріння, але й передача їх на бурову установку з метою подальшого застосування.

Перевага застосування такого методу полягає у здатності оцінювати механічну швидкість буріння як функцію від незалежних параметрів буріння. На основі аналізу параметрів буріння може бути побудована база даних, що відповідає кожному виду гірської породи, а також встановлено відношення між параметрами буріння і трендом механічної швидкості буріння, і під час фактичного 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 врахуванням глибини і повинна бути контрольована з метою гарантування того, що кожне відхилення від наперед встановленого тренду може призвести до виникнення аварійних 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 в породі, характеристик параметрів процесу буріння, або деяких технічних при-

чин в допоміжних системах бурової установки. Виконання аналізу чутливості системи на результатах, що визначаються відповідними ваговими коефіцієнтами на етапі збору даних в реальному часі даватиме когерентні діаграми на рівні однієї і тієї ж гірської породи, які відповідно відрізнятимуться в різних породах.

Модель для механічної швидкості буріння означається з метою досягнення основної цілі даного дослідження, а саме прийняття рішень в реальному часі, що забезпечить бажану механічну швидкість буріння. Завдання також полягає в прийнятті рішень щодо прикладеного осьового зусилля на долото і швидкості обертання бурового долота. В результаті процес буріння розглядається як залежний від гірської породи. Математичне обчислення механічної швидкості буріння як функції від контрольованих і неконтрольованих параметрів буріння виконується в рамках побудови моделі процесу буріння.

Загалом, в модель процесу поглиблення свердловини входять незалежні змінні у формі параметрів процесу буріння, що представляють: ефект щільності гірської породи, діаметр долота, осьове зусилля на долото, швидкість обертання долота, ступінь зношеності зубців, гідравліка бурового долота. Всі значення параметрів процесу буріння повинні реєструватися системою контролю бурових операцій, після чого передаватися на центральний сервер для їх зберігання та синтезу. Оскільки, якість даних матиме прямий вплив на результати процесу буріння, то дані, що передаються на сервер повинні містити якомога менше спотворень. Пропонована методологія полягає в обробці даних більше ніж з одного бурового майданчика шляхом конкатенації всіх даних в унікальні набори даних і застосування до них відповідних процедур статистичного аналізу. Показано, що методологія буде функціональною навіть тоді, коли тип бурового розчину, глибини буріння і типи доліт є різними, оскільки пропонована модель враховує всі ці параметри.

На рисунку 2 відображено теоретичні аспекти схематичного застосування методології збору даних. Процес починається з отримання даних процесу буріння з комп'ютерної мережі бурового майданчика, передачі отриманих даних в операційний центр або на центральний сервер. Відповідно центральний сервер здійснюватиме аналіз даних і надсилатиме їх через зворотній зв'язок назад на буровий майданчик. Роль бурового майстра полягатиме у присвоєнні значень параметрам процесу буріння, шляхом взаємодії із буровою установкою через пульт оператора.

В технології буріння використовуються три загальні моделі для механічної швидкості буріння: Маурера, Галі та Вудса і Боургойна та Йоунга.

Метод Маурера базується на теоретичному рівнянні для буріння шарошковими конічними долотами як функції від осьового зусилля на долото, кількості обертів за хвилину, діаметра долота та міцності гірської породи. Розроблене рівняння було базоване на таких спостережен-



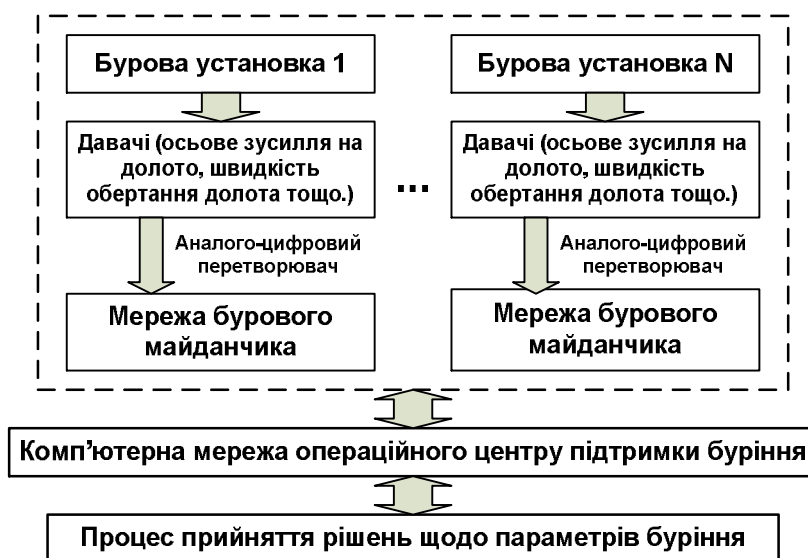


Рисунок 2 – Теоретична модель процесу буріння



Рисунок 3 – Схематичне подання загального рівняння для механічної швидкості буріння

нях, як кількість створених шарошкою кратерів та міцність гірської породи.

Метод Галі та Вудса застосовується до проблеми кращого вибору для осьового зусилля на долото та кількості обертів за хвилину. Подається діаграма для вибору поєднань параметрів буріння. Показано, що застосування запропонованого методу дозволяє знизити витрати на процес буріння.

Метод Боургойна та Йоунга є найбільш важливим методом для прийняття рішень в процесі буріння, оскільки він базований на статистичному синтезі використаних параметрів буріння. Також в ньому була представлена лінійна модель буріння і засоби аналізу над введеним рівнянням механічної швидкості буріння. Виходячи з даної причини, цей метод розглядається як найбільш придатний для прийняття рішень в процесі буріння в режимі реального часу.

Модель, запропонована Боургойном та Йоунгом, використана в даному дослідженні з метою виведення рівнянь для оцінювання механічної швидкості буріння на основі доступних східних даних. Була вибрана саме дана модель оскільки вона розглядається як одна з найбільш повних математичних моделей процесу буріння, для випадку шарошкових конічних доліт. Для сумісності доступних даних з моделлю,

коефіцієнти, що в ній використовуються, є модифікованими. Загальне лінійне рівняння механічної швидкості буріння є функцією від контрольованих та неконтрольованих змінних процесу буріння.

Розглянуті ефекти впливу контрольованих і неконтрольованих змінних буріння на механічну швидкість буріння можуть бути детально описані для кожного входження. Рисунок 3 дає схематичне подання загального рівняння для механічної швидкості буріння для шарошкових типів доліт.

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 технологічно процесу. Проблем процесу буріння свердловин, що виникають внаслідок неефективного використання параметрів і загалом мають місце на буровому майданчику в більшості випадків можна уникнути.

Ефективне прийняття рішення в процесі буріння можливе, якщо виходити з припущення, що бурове устаткування, компоновка низу бурової колони і долото, що використовується в процесі буріння, оптимально вибрані згідно існуючих установок в реальному часі. З метою

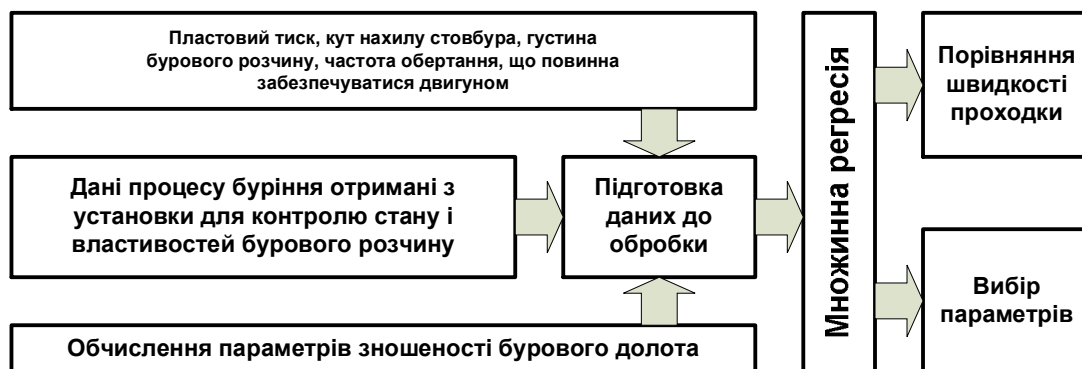


Рисунок 4 – Діаграма процесу обробки даних

досягнення цілі мінімізації вартості буріння, зокрема долото повинно бути захищено від можливих ушкоджень під час опускання в свердловину.

Обробка даних полягає в приведенні даних до вигляду, придатного для опрацювання наявними апаратними, програмними та формальними засобами, які використовуються для пошуку коефіцієнтів оцінки параметра механічної швидкості буріння. Для цього необхідно задати опис даних та подати і оцінити кінцевий результат. Крім того, окремою задачею є передавання даних від джерела. Також необхідно оцінити результати побудови моделі, що використовується для оброблюваних даних. Важливо, щоб значення швидкості буріння обчислювалося з заданою точністю. Ще одним важливим завданням є оцінка можливих результатів у випадку застосування розробленої методики до фактичних даних.

Процес передавання даних є важливим кроком в процесі прийняття рішень. Після отримання дані повинні бути передані найбільш ефективним способом на центральний комп'ютер (сервер), на якому виконуватиметься процес прийняття рішень. Цикл прийняття рішень повинен включати такі кроки:

1) дані повинні бути передані в середовищі реального часу на центральний комп'ютер безпосередньо з бурового майданчика;

2) центральний комп'ютер разом з інформацією, що вже існує в його базі даних, повинен обробляти дані і приймати рішення щодо параметрів буріння;

3) параметри буріння повинні бути передані назад на буровий майданчик для безпосереднього застосування.

Для випадку бурового розчину, процес прийняття рішень функціонує на основі даних про параметри буріння, отримані з установок для контролю стану і властивостей бурового розчину. На рисунку 4 зображено діаграму процесу прийняття рішень. Згідно з діаграмою, підготовка даних виконується з метою забезпечення прийняття рішення, що базується на означеному загальному рівнянні для швидкості буріння. Виконується розрахунок і включення в базу даних таких характеристик, як пластовий тиск, нахил стовбура свердловини, густина циркулюючого бурового розчину, реологічні вла-

стивості бурового розчину та додаткова швидкість обертання бурового долота, що повинна забезпечуватись двигуном. Визначені коефіцієнти використовуються для обчислення прогнозованих значень швидкості буріння і для визначення відповідних параметрів буріння.

Застосування запропонованої методики показало, що вона може функціонувати ефективно під час фактичного процесу буріння, а також на етапі планування свердловин і розробки ефективних сценаріїв буріння. Прогнозування ефективності механічної швидкості буріння повинно бути зроблене засобами знаходження вагових коефіцієнтів відповідно до гірської породи. Було показано, що із збільшенням кількості даних збільшується якість результатів, отриманих на основі обчислюваних коефіцієнтів. В дослідженнях щодо прийняття рішень в процесі буріння, прогнозування механічної швидкості буріння перед фактичним виконанням процедури буріння не є актуальною задачею. Відповідно, також не є частою задачею надання рекомендацій щодо встановлення значень керованих параметрам процесу буріння. Для збору необхідних даних про процес буріння необхідно застосовувати сучасне обладнання контролю свердловини, а також виконувати застосування відповідної моделі, що визначає константи визначені в загальному рівнянні швидкості буріння.

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

Відповідно до гірської породи, значення керованих параметрів матимуть деякий відносний вплив на загальну магнітуду швидкості буріння в заданих границях, враховуючи той факт, що кожний тип гірської породи має певний вплив на характеристику швидкості буріння. Особливо важливим параметром є коефіцієнт міцності гірської породи, що розглядається як такий, що пов'язаний з впливом таких факторів, як характеристики бурової установки та загальна якість бурового обладнання. Всі ці впливи можна розглядати як окремі функції для



Рисунок 5 – Архітектура інтелектуальної стратегії підтримки прийняття рішень

дослідження. В кінцевому підсумку такий підхід дозволить досягнути означень для кожної породи в термінах вагових коефіцієнтів і ефективність шуканих значень швидкості буріння може бути порівняна, базуючись на даних коефіцієнтах разом з одночасним виконанням задач прийняття рішень в процесі буріння. Відповідно, інші входження шуканих 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. Оператор технологічного процесу може погодитися щодо наперед визначеної ефективності механічної швидкості буріння, а також контролювати процес буріння, базуючись на фактичних даних.

Розриви у трендах даних усуваються шляхом застосування інтерполяції. Таким чином, наявні дані інтерполюються і виконується відповідне взяття релевантних проб. Дані результати відображають той факт, що було отримано більш точні прогнози для значень швидкості буріння. Також було отримано обґрунтування зниження загального часу обертання бурового долота і, як наслідок, загального часу буріння без проведення фактичних бурових тестів.

Отримані діаграми осьового зусилля на долото показують схожі результати, як і у випадку швидкості обертання долота. Необхідно нагромадження даних для отримання їх середніх значень з метою отримання кращих кінцевих результатів прогнозування.

Однією з найбільш важливих задач є визначення зношеності зубців для використовуваного долота. Відповідно, розробка ефектив-

ного механізму визначення зношеності зубців дозволить отримати регламентний рівень методології, якщо технічно можливим є отримання миттєвих фактичних значень зношеності зубців долота в реальному часі. Також не менш важливою є процедура передачі таких фактичних даних щодо зношеності зубців безпосередньо з вибою свердловини.

На рисунку 5 представлено теоретичний опис архітектури пропонованої інтелектуальної стратегії підтримки прийняття рішень. Така архітектура відображає приклад того, як такі рішення можуть бути реалізовані. Очевидно, що для доступу і аналізу значних масивів даних необхідна як обчислювальна потужність, так і ресурси пам'яті, що дозволяє відтворювати інтелектуальну поведінку, необхідну для комплексних ситуацій прийняття рішень.

Крім методологічного аспекту зрозуміло, що проєктована інтелектуальна стратегія має характеристики, що в загальному асоціюються з інтелектуальністю оператора технологічного процесу буріння. Відповідно розглядається позиціонування, що інтелектуальна система повинна демонструвати певну інтелектуальність схожу до людської, яка забезпечується відповідним динамізмом генерації. Таким чином, чим більш інтелектуальною є поведінка, що демонструє система у плані своєї функціональності, тим більш потужні повинні бути засоби ефективного використання базових інтелектуальних механізмів.

Важливим технологічним моментом щодо представлення доменних знань є спосіб розподілу таких знань між компонентами. Введемо наступне представлення знань, що базується на методології набуття знань, яка є похідною від графів знань.

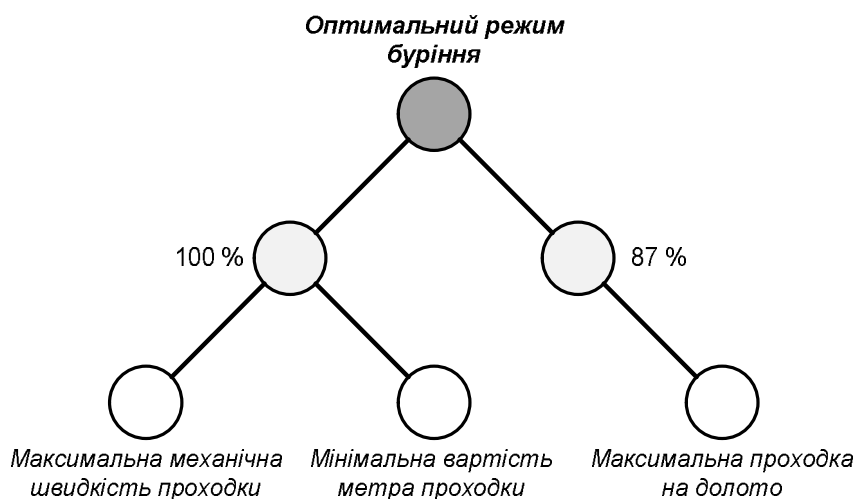


Рисунок 6 – Граф знань для домену «режими буріння»

Граф знань (KG – knowledge graph) означає як напрямлений і/або ациклічний граф, що використовується для представлення експертних знань для деякої специфікованої (окремої) класифікаційної гіпотези. В графі знань використовується три типи вузлів: 1) *вузли гіпотези* – представляють гіпотези або класи, що розглядаються в графі; 2) *вузли підтверджень* – представляють вхідну інформацію, що відповідно підтримує специфіковану гіпотезу; 3) *вузли посередники* – представляють різні групи підтверджень, що приводять до деякої специфікованої гіпотези або класу. Відповідно, такі групи підтверджень представлятимуть фрагменти знань, що застосовуються експертом при побудові міркувань щодо проблеми. Вузли посередники представляють логічні операції на множині вузлів підтверджень, що їх зв'язують.

Важливо також те, що доменні знання подають трьома способами: 1) засобами асоціативних правил; 2) засобами нейромережевої моделі, тобто засобами неявного представлення в структурі нейромережі; 3) через ієрархію класів та об'єктів.

Доменні знання виразимо через множину асоціативних правил на рівні видобування даних (data mining). Зокрема рис. 6 представляє частину графа знань з домену «режими буріння».

Такий граф знань може бути трансльований в деяку форму представлення правил, що зв'язують відповідні вузли підтверджень, наприклад, граф знань з рисунка 7 може бути представлений наступним чином:

**ЯКЩО** (Механічна швидкість проходки  $\in$  MAX)

**І** (Вартість метра проходки  $\in$  MIN)

**ТОДІ** (Режим буріння  $\in$  оптимальний із 100% – вим ступенем впевненості)

Такий спосіб запису є дуже схожий до представлень асоціативних правил. Таким чином, представлення асоціативних правил для одного з шляхів на рисунку 6 може бути описано як:

$$H = \{Node_1, Node_2\} \text{ та}$$

$$B = \{Оптимальний режим буріння\},$$

ступінь впевненості правила 100%, де  $H \rightarrow B$ ;

$Node_1$  = максимальна швидкість проходки;

$Node_2$  = мінімальна вартість метра проходки.

**Висновок.** Введено формальне представлення свідчить, що графи знань в домені предметної області «режими буріння» можуть бути подані відповідними множинами доменних асоціативних правил. Більше того, асоціативні правила можуть автоматично генеруватися з відповідних *Case-ів* режимів буріння, шляхом застосування алгоритму генерації асоціативних правил. Такий підхід може представляти потенційне рішення проблеми набуття знань для процесу прийняття рішень щодо встановлення значень керованих параметрів і їх представлення засобами графів знань. Проте, слід зауважити, що хоча графи знань і утворюють потужний підхід для набуття знань і їх представлення в класифікаційних проблемах, сама їх побудова є затратна за часом і включає в себе ряд додаткових затратних вартісних процесів, що вимагають залучення великої кількості експертів технологічного процесу буріння із значним досвідом промислового буріння. Таким чином, асоціативні правила вибрано як відповідні формалізми представлення знань завдяки їх схожості з графами знань, а також оскільки вони реалізують чіткий і природний спосіб представлення знань про процес буріння, що є простим для розуміння людиною, оскільки даний механізм дозволяє легко представляти причинно-наслідкові зв'язки, що можуть бути придатними для моделювання домену предметної області за умови існування ефективних алгоритмів для видобування асоціативних правил, а також оскільки вони можуть бути легко налаштовані для вибраної загальної моделі.

Подальші дослідження даного напрямку будуть спрямовані на програмну реалізацію виділених підходів до реалізації інтелектуальної стратегії прийняття рішень в процесі буріння.

**Література:**

- 1 Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин: монографія / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2003. – 493 с.
- 2 Mitchell В. Advanced Oil well drilling engineering: Handbook & computer programs / В. Mitchell – 10 th Edition. – 1st Revision. – July 1995. – 626 p.
- 3 Осипов П.Ф. Оптимизация режимов бурения гидромониторными шарошечными долотами / Осипов П.Ф., Скрябин Г.Ф. – Ярославль: Медиум-пресс, 2001. – 239 с.
- 4 Кульгинов А.С. Алгоритмы оптимизации процесса бурения с учетом технико-технологических мероприятий по усовершенствованию узлов управления / А.С. Кульгинов С.М. Ахметов, А.С. Айтимов // Инновации в науке: материалы XII междунар. заочной науч.-практ. конф., 17 сентября 2012 г. – Новосибирск, 2012. – 106 с.
- 5 Бревдо Г. Д. Проектирование режима бурения / Г. Д. Бревдо. – М.: Недра, 1988. – 200 с.
- 6 Семенцов Г.Н. Оптимальное управление процессом бурения нефтяных и газовых скважин: автореф. дис. д-р. тех. наук, спец. 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (промышленность) / Г.Н. Семенцов. – М.: МИНИГ, 1990. – 44 с.
- 7 Горбійчук М.І. Моделювання та ідентифікація процесу заглиблення свердловин / М.І. Горбійчук, В.Б. Кропивницька // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – №1(7). – С. 9-13.
- 8 Ситников Н.Б. Зависимость механической скорости от времени чистого бурения / Н.Б. Ситников, В.А. Троп // Изв. вузов. Горный журнал. – 1994. – №8. – С.80-84.
- 9 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.
- 10 Дудля М.А. Алгоритм адаптивної стабілізації навантаження на долото / М.А. Дудля, В.М. Карпенко // Науковий вісник: зб. наук. пр. Національної гірничої академії. – 2000. – №4. – С. 81-88.
- 11 Демчина М.М. Експертні методи оцінки технологічних параметрів при бурінні свердловин / М.М. Демчина, В.І. Шекета, Р.Б. Вовк // Нафтогазова енергетика. – 2013. – №1(19). – С. 26-37.
- 12 Maurer W.C. The «Perfect-Cleaning» Theory of Rotary Drilling / Maurer W.C. – Journal of Pet. Tech. – 1962. – November. – P. 1270-1274.
- 13 Galle E.M. Best Constant Weight and Rotary Speed for Rotary Rock Bits / Galle E.M and Woods A.B // Drill. And Prod. Prac., API. – 1963. – P. 48-73.
- 14 Bourgoyne A.T. A Multiple Regression Approach to Optimal Drilling and Abnormal Pressure Detection / Bourgoyne A.T. Jr., Young F.S. – SPE 4238, 1974. –August – P. 371-384.
- 15 Волобуєв А.І. Використання промислової інформації для оптимізації режиму буріння / А.І. Волобуєв, М.М. Слєпко // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – №2. – С. 127-130.

*Стаття надійшла до редакційної колегії  
24.10.13*

*Рекомендована до друку  
професором **Тимківим Д.Ф.**  
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)  
професором **Козутом І.Т.***

*(Прикарпатський національний університет  
ім. В. Стефаника, м. Івано-Франківськ)*