

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ КОНЦЕПЦІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ БУРІННЯ НАФТОВИХ І ГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН

М.М. Демчина

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(0342) 727185,
e-mail: demchyna@i.ua

Застосування інтелектуальних систем в процесі буріння нафтових та газових свердловин дасть змогу оптимізувати конструкцію свердловини з використанням критерію мінімізації коштів, мінімізації ймовірності виникнення нештатних ситуацій і підвищення кінцевого дебіту свердловини.

Даний підхід включає планування конструкції свердловини до початку буріння, модифікації, виконані в процесі буріння, а також проектування та оптимізацію параметрів, що безпосередньо впливають на ефективність буріння, таких як властивості бурового розчину, вибір долота та інші технологічні операції.

Таким чином, застосування інтелектуальних систем при бурінні нафтових та газових свердловин уможливить ефективно вирішення ряду завдань: зменшення ступеня зношеності бурового долота; зменшення кількості спуско-підіймальних операцій, необхідних для заміни зношених долот; збільшення часу експлуатації долота; підвищення механічної швидкості проходки; покращення контролю за спрямованістю стовбура свердловини; зменшення вібрацій бурової колони і потенційного зменшення кількості та частоти відмов обладнання на вибої; зниження проявів втрати циркуляції бурового розчину і зменшення часу, необхідного для вирішення нештатних ситуацій, пов'язаних з втратою циркуляції; зменшення часу, необхідного на виконання ловильних операцій; зниження частоти прихоплення бурових труб; зменшення часу, необхідного для вирішення проблеми осипання стовбура свердловини та скручування бурової колони.

Така функціональність може бути забезпечена шляхом побудови інтелектуальної системи на основі ієрархії баз даних та знань про нафтогазові об'єкти з використанням чітких та нечітких правил в основі механізму логічного висновку.

Ключові слова: нафтогазовий об'єкт, буріння свердловин, інтелектуальна система, експертна система, база даних, база знань, правила, прийняття рішень, оптимізація.

Применение интеллектуальных систем в процессе бурения нефтяных и газовых скважин позволит оптимизировать конструкцию скважины с использованием критерия минимизации средств, минимизации вероятности возникновения нештатных ситуаций и повышения конечного дебита скважины.

Данный подход включает планирование конструкции скважины в начале бурения, модификации, выполненные в процессе бурения, а также проектирование и оптимизацию параметров, непосредственно влияющих на эффективность бурения, таких как свойства бурового раствора, выбор долота и другие технологические операции.

Таким образом, применение интеллектуальных систем при бурении нефтяных и газовых скважин позволяет эффективно решить ряд задач: уменьшение степени износа бурового долота; уменьшение количества спуско-подъемных операций, необходимых для замены изношенных долот; увеличения времени эксплуатации долота; увеличения механической скорости проходки; улучшения контроля направленности ствола скважины; уменьшения вибраций буровой колонны и потенциального уменьшения количества и частоты отказов оборудования на забое; снижение проявлений потери циркуляции бурового раствора и уменьшения времени необходимого для решения нештатных ситуаций, связанных с потерей циркуляции бурового раствора; уменьшения времени, необходимого на выполнение ловильных операций; снижения частоты возникновения прихвата буровых труб; уменьшения времени, необходимого для решения проблемы обвала ствола скважины и скручивания буровой колонны.

Такая функциональность может быть обеспечена путем построения интеллектуальной системы на основе иерархии баз данных и знаний о нефтегазовых объектах с использованием четких и нечетких правил в основе механизма логического вывода.

Ключевые слова: нефтегазовый объект, бурение скважин, интеллектуальная система, экспертная система, база данных, база знаний, правила, принятие решений, оптимизация.

The intelligible system implementation in the process of drilling oil and gas wells allows us to optimize the well construction by applying the criterion of decreasing expenditures and minimizing the probability of the contingency situation occurrence and increasing the final flow rate of the well.

This approach includes the planning of the well construction before drilling, the modification during drilling as well as the design and optimization of parameters which have a direct influence on the drilling efficiency, namely the drilling mud properties, the bit selection and the other relevant technological operations.

Thus, the intelligible system application in oil and gas well drilling allows solving effectively the following tasks: to decrease the level of drilling bit wear, to reduce the number of tripping operation needed for the replacement of worn bits, to increase the life time of the bit, to increase the drilling rate, to enhance the control over the well bore direction, to decrease the vibration of drill string and to reduce the possible number and frequency of downhole equipment failure, to decrease the loses of circulation of the drilling fluid and to decrease the time necessary for solving the contingency situation related to circulation loses, time diminishing needed for fishing

operations, to reduce the frequency of striking the pipe, to reduce the time needed for solving the problem of hole sloughing and drill string twist off.

The expected operation can be provided in the way of constructing the intelligible system basing on the hierarchy of databases and knowledgebases about oil and gas objects by using crisp and fuzzy rules for logical inference process.

Key words: oil and gas object, well drilling, intelligible system, expert system, database, knowledgebase, rules, decision taking, optimization.

Вступ. На сьогодні створено велику кількість комп'ютерних систем, які допомагають приймати рішення в процедурах інтерпретації даних та знань про нафтогазові об'єкти [1-4]. Дані системи дозволяють вирішувати ряд прикладних задач, таких, наприклад, як: проектування обсадної колони, гідравліка бурового розчину, обчислення загальних витрат на свердловину та ряд інших.

Системи, які враховують взаємозв'язок виділених параметрів, як правило базуються на концепції електронних таблиць та мають здатність до побудови і аналізу моделі гіпотетичних свердловин та моделі бурової системи, що може бути використана при бурінні свердловин [5-7]. Системи даного класу дозволяють користувачу моделювати геологічне середовище свердловини та сам проект свердловини з метою отримання потрібної конфігурації. Крім того, користувач може змінювати різні параметри буріння, запускаючи відповідні програмні процедури, такі як програма контролю бурового розчину, програма контролю обсадної колони, програма розрахунку часу спуско-підйомних операцій, програма проектування компоновки низу бурової колони та ін. Відповідно до потреб користувача також можуть бути змінені фактори часу та вартості для кожного елемента бурової системи і відповідної бурової операції. Саме завдяки високій гнучкості такі системи є корисними для тестування чутливості параметра загального часу і параметра вартості буріння свердловини по відношенню до індивідуальних компонентів системи, елементів проекту свердловини або часу окремих бурових операцій. При цьому на основі методик аналізу зв'язків між параметрами можна тестувати і оцінювати множини змінних в формі технологічних параметрів.

Концепції штучного інтелекту [8-9] мають багато потенційних застосувань в бурінні нафтових та газових свердловин. Інтелектуальні системи можуть використовуватися для планування та проектування свердловин, оптимізації параметрів буріння, а також забезпечення підтримки в інших проблемних областях. Засоби інтелектуальних автоматизованих систем можуть бути застосовані в більшості областей, пов'язаних з роботою на буровому майданчику. В деяких випадках системи на основі штучного інтелекту уже застосовуються при бурінні нафтових та газових свердловин. В багатьох інших випадках такі розробки ведуться як на концептуальному рівні, так і на рівні практичної реалізації.

Прийнято поділяти сферу застосування штучного інтелекту на два основні класи: експертні системи і автоматизовані інтелектуальні

системи [8]. Дане дослідження базується на аналізі ряду промислових застосувань експертних систем, таких як: BalancedCmtPlugs, CasingDesign, WellControl, MudEngineering, CEMPRO, MUDPRO, StuckPipePro, PeN-LAB, FreePoint, DrillPro, CeraPhi, MUDMAN, SECOFOR, The Drilling Expert System, WELLSAF, ARCO, Cement Advisor, CASES [10-11].

Проте, існуючі розробки здебільшого не дозволяють одночасно врахувати фактори часу і вартості бурового обладнання, операційну активність в технологічних процесах та дослідити можливі зв'язки між виділеними базовими компонентами.

Таким чином, **метою даної статті** є реалізація формально-логічних ідей штучного інтелекту в технологічних процесах буріння нафтових і газових свердловин, таких як проектування кріплення свердловини, проектування процедури цементування, процедури керування буровим долотом, проектування властивостей бурового розчину, проектування компоновки низу бурової колони та ряду інших процесів, що уможливить їх оптимізацію за фактором часу і вартістю.

Основна частина. Для побудови коректної економічної оцінки слід виходити з припущення, що всі значення вартості, які розглядаються в дослідженні, є власне вартістю розробки свердловин. Виходячи з таких міркувань, необхідно брати до уваги не тільки потенційні заощадження від застосування кожної системи штучного інтелекту, але також вартість на свердловину, що буде отримана при застосуванні таких систем. Для випадку експертних систем, зокрема, припускається, що така вартість є незначною, тобто нею можна знехтувати. Це означає, що в процесі розробки свердловини потрібно враховувати інвестиційну вартість для розробки або придбання експертної системи. Але гранична вартість використання на кожній додатковій свердловині буде дуже малою.

Отже, у випадку застосування інтелектуальних автоматизованих систем витрати, пов'язані з даним процесом, збільшуватимуться здебільшого через недосконалість існуючої традиційної структури промислового буріння. На противагу експертним системам, де оператор свердловини зазвичай володіє і оперує системою, сервісні компанії і підрядні організації, що виконують буріння, прагнуть запропонувати додатки із використанням автоматизованих інтелектуальних систем. Такі компанії вимагатимуть додаткової оплати від розробника свердловини за використання апаратних засобів і персоналу, необхідного для оперування такою

системою. Така вартість відповідно буде базуватися на: 1) фактичних операційних витратах і додаткових витратах, які несе сервісна компанія; 2) оплаті інвестицій, вкладених в дослідження та розвиток сервісної компанії.

Для кожної системи штучного інтелекту визначення потенційної мети, такої як збереження коштів, встановлюється шляхом безпосереднього діалогу з експертами процесу буріння з метою формування оптимальної оцінки, яку може мати кожна з таких систем.

Оскільки більшість операцій в технологічному процесі буріння вимагає збалансованості численних факторів один відносно одного, причому деякі з них мають змінні ступені значеності, то це робить ефективним застосування експертних систем. Виділяють п'ять основних областей застосування експертних систем на етапі проектування свердловин і оптимізації процесу буріння нафтових та газових свердловин [10-11]:

Кріплення свердловини обсадними трубами складає основну частку від загальної вартості свердловини. Геологічні умови місця розташування бурового майданчика визначають необхідну кількість обсадних колон, а також їх оптимальні глибини. Загалом особливості регіону буріння та способи інтерпретації окремих геологічних умов визначають план бурових робіт. З перебігом процесу буріння окремі фактори та особливості умов буріння вимагатимуть внесення змін до проекту кріплення свердловини. Розмір кріплення обсадними трубами балансується між збільшенням доступної зони припливу і суттєво вищою вартістю буріння свердловини більшого діаметра.

Щодо визначення цілей функціонування системи, проект кріплення свердловини не може розглядатися тільки з точки зору зменшення вартості або параметра підвищення ефективності, оскільки існує ймовірність, що оптимальним проектом кріплення для деякої заданої свердловини буде кріплення обсадною трубою більшого діаметра, ніж у стандартному випадку. Це означає, що в даному випадку повинна буритися більша за діаметром свердловина, і, відповідно, буде потрібна більша бурова установка, що призведе до збільшення вартості проекту кріплення свердловини. Все це підвищуватиме загальну вартість буріння свердловини, проте оптимізоване кріплення обсадними трубами дасть більший дебіт з свердловини, зменшить кількість свердловин, необхідних для розробки родовища і таким чином зменшить загальну вартість процесу розробки свердловини. Таким чином, кожен випадок заощадження коштів від деякого ідеалізованого проекту кріплення свердловини може бути обчислений тільки шляхом проєкції збільшених обсягів видобутку залежно від самого пластового резервуара.

В даному випадку виконується оцінка обсягу потенційних заощаджень з точки зору експертної системи проектування кріплення обсадними трубами з припущенням, що на заданій свердловині кріплення обсадними трубами бу-

ло виконано з завищеним запасом міцності. В такому випадку експертна система проектування кріплення обсадними трубами рекомендує відрегулювати проміжну колону обсадних труб і робить висновок про те, що менша вага або інший ступінь кріплення обсадними трубами не буде виконуватись на шкоду безпеці або стійкості, що в кінцевому підсумку забезпечить економію на кожну одиницю виміру обсадної труби.

Таким чином, застосування експертних та інтелектуальних систем в області кріплення обсадних труб дозволить проектувати обсадну колону таким чином, щоб задовольнялися релевантні геологічні обмеження та специфікації, а також певні локальні технологічні регуляції.

У свердловинах всі обсадні колони цементуються в напрямку до поверхні, і тому проект кріплення свердловини значною мірою визначає вимоги щодо цементування. Також потенційна область застосування для експертних та інтелектуальних систем існуватиме при проектуванні і плануванні фактичної роботи з цементування, в ході якої визначається: а) необхідна кількість цементу; б) швидкість на якій він повинен закачуватися; в) властивості, які повинен мати цемент (густина, час тужавіння, температура); г) чи повинна застосовуватись технологія поетапного цементування. Таким чином, краще визначення складу цементних розчинів може бути досягнуто шляхом більш точного прогнозування температур на вибої і умов у покладі. В більшості випадків краще виконання процедури цементування матиме своїм результатом суттєві заощадження щодо вартості життєвого циклу свердловини шляхом запобігання або відстроєння потреби в переробках та ремонтах обсадних труб. Це дозволить також уникнути необхідності в повторному цементуванні під час процесу буріння.

Отже, застосування експертних та інтелектуальних систем для проектування кріплення обсадними трубами безпосередньо фізично не впливатиме на значення вартості або часу виконання процедури цементування. Найбільш вірогідна область їх впливу на вартість процесу буріння полягатиме в запобіганні і мінімізації деяких нештатних ситуацій, що можуть виникнути в технологічному процесі. Крім того, більшість проблем, що виникають під час процесу цементування, є механічними за своєю природою (збої в роботі насоса, протікання сальника і т.д.) і не можуть бути вирішені засобами експертних чи інтелектуальних систем для проектування процесу цементування. Якщо виникає проблема такого класу, експертна або інтелектуальна система не матиме засобів впливу на кількість часу, необхідного для її вирішення.

Фактори, закладені в процес проектування програм використання бурових доліт, мають на меті оптимізувати швидкість проходки на виділеній свердловині і включають: а) вибір бурового долота; б) навантаження на долото під час буріння; в) швидкість обертання; г) гідравлічні властивості; д) властивості флюїду; е) властивості формації гірської породи. Таким чином,

техніки оптимізації долота матимуть певну кореляцію з параметрами формації гірської породи, відповідно характеристики долота матимуть кореляцію з особливостями застосування долота в даному нафтогазоносному регіоні і, зокрема, з формацією гірської породи, де буде безпосередньо буритися свердловина.

Дослідження свідчать, що вибір долота шляхом порівняння умов буріння у сусідніх свердловинах дасть змогу зекономити на вартості буріння нафтових і газових свердловин. Вірогідно також, що багато операторів технологічного процесу використовують дані про долота з сусідніх свердловин для буріння власних свердловин, що може також розглядатися як деяке обґрунтоване оптимальне значення, як вихідна точка для потенційних заощаджень при впровадженні експертної або інтелектуальної системи розрахунку бурового долота.

В результаті оптимізація параметрів долота дає можливість зменшити вартість буріння, що призведе також до змін в розрахунку вартості долота, часу обертання і механічної швидкості проходки. З метою такого аналізу набагато легше досягнути певного заданого зменшення вартості буріння шляхом фіксації незмінності розрахунку вартості долота і часу обертання та збільшення механічної швидкості в заданому діапазоні. В розрахунку оцінюваної економії коштів таке збільшення механічної швидкості може припускатися тільки для випадку направленої обсадної колони.

В кінцевому підсумку створення експертних та інтелектуальних систем для розрахунку долота дозволить отримати рекомендації щодо змін у типах доліт або в операційних технологічних умовах загалом.

Буровий розчин виконує ряд задач в процесі буріння, а саме: а) охолодження бурового долота; б) змащення бурової колони; в) видалення бурового шламу; г) запобігання припливу флюїду з формації гірської породи; д) забезпечення стабільності стовбура свердловини. Склад бурового розчину формується, базуючись на вимогах, що визначаються задачами геології, характеристиками резервуару, температурою і планом бурових робіт. Технологічні параметри даного процесу включають густину, в'язкість, опір до поглинання бурового розчину і хімічний склад бурового розчину. Визначення цілей експертних та інтелектуальних системи щодо дослідження впливу флюїдів на процес буріння полягатимуть в: а) збільшенні швидкості механічної проходки нижче направляючої обсадної колони; б) зменшення проявів втрати циркуляції; в) запобігання руйнуванню стінок свердловини; г) зменшення кількості прихоплення труб.

Застосування експертних та інтелектуальних систем в даній області дає змогу надавати рекомендації щодо діагностики і контролю нештатних ситуацій пов'язаних з буровим розчином, обчислювати градієнти розривів пласта, обчислювати допустимі гідравлічні удари, обчислювати необхідну масу бурових розчинів, виконувати аналіз бурових розчинів і генерува-

ти загальні та детальні рекомендації щодо їх застосування, виконувати аналіз нештатних ситуацій, пов'язаних з буровим розчином, і надавати експертні поради щодо їх усунення.

Компонування низу бурової колони полягає в піднятті нижньої частини бурової колони від бурового долота до верху обваженої бурової труби. Компоненти даного процесу включають: а) долото; б) перевідник долота, що сполучає долото з буровою колоною; в) обважену бурову трубу, що використовується для контролю ваги, яка подається на долото; г) розширюючі долота для відкриття стовбура свердловини; д) стабілізатори для зменшення вібрацій і збільшення контролю спрямованості; е) інструменти контролю спрямованості, що включають свердловинний кривий перехідник і мотори або турбіни на вибої. Вибір компоновки низу бурової колони є функцією від глибини свердловини, геометрії свердловини, геології свердловини, характеристик бурового долота та існуючих або бажаних викривлень стовбура свердловини.

Цілі експертних та інтелектуальних систем для проектування компоновки низу бурової колони повинні включати: а) збільшення швидкості механічної проходки нижче направляючої обсадної колони; б) зменшення проявів відходу в сторону боковим стовбуром; в) зменшення частоти обривів бурових труб; г) зменшення частоти ловильних робіт.

Основним завданням експертів процесу буріння, а також відповідних експертних та інтелектуальних систем, що базуються на їх знаннях, є допомога операторам у вирішенні нештатних ситуацій, що виникають у процесі буріння. Такі нештатні ситуації майже завжди є неочікуваними, оскільки раптово переривають нормальний перебіг бурових операцій і, відповідно, вимагають негайних дій щодо їх усунення. В фахових джерелах [5-7] наводяться дані, що нештатні ситуації в процесі буріння збільшують вартість середньостатистичної свердловини на 15-20%, а в деяких випадках навіть до 100% збільшення вартості в порівнянні з ідеальною свердловиною, тобто свердловиною, при бурінні якої не виникло жодної нештатної ситуації.

Загалом застосовність експертних та інтелектуальних систем для обслуговування нештатної ситуації процесу буріння залежить від рівня складності (комплексності) нештатної ситуації та від кількості можливих альтернатив і об'єму інформації, що повинна розглядатися.

Таким чином, експертні та інтелектуальні системи можуть мати застосування до багатьох проблем, що виникають в технологічному процесі буріння, а саме таких, як втрата циркуляції, втрата контролю над свердловиною, проблеми, пов'язані з ловильними роботами, прихоплення бурової колони, проблеми, що виникають в процесі цементування. Виконаємо аналіз даних проблем, включаючи їх причини та актуальність з метою оцінки потенційної застосовності експертних та інтелектуальних систем і оцінки ефективності використання уже існуючих систем.

В загальному випадку втрата циркуляції є найбільш серйозною проблемою в бурінні. Дана проблема трапляється, коли свердловина доходить до зони формації гірської породи з нижчим тиском, ніж у стовбурі свердловини. При цьому флюїд зі стовбура свердловини починає надходити в формацію гірської породи. Крім очевидної проблеми, яка полягає у вартості втраченого флюїду, втрата циркуляції може призвести до прихоплення бурильної колони, проблем з цементуванням і зрештою до втрати контролю над свердловиною. В багатьох випадках процес буріння зупиняється до тих пір, поки не буде вирішена проблема, пов'язана з втратою циркуляції. Зокрема, для вирішення даної проблеми застосовуються закупорюючі агенти та засоби протидії втраті циркуляції, які додаються до бурового розчину з метою шунтування зони втрати. У випадку, якщо цей метод не спрацює, виконується цементування. Якщо ж і цементування не є успішним, то вдаються до відходу в сторону за допомогою бокового стовбура або припинення розробки свердловини взагалі. В деяких випадках падіння рівня флюїду внаслідок втрати циркуляції буде призводити до різкого підвищення тиску в стовбурі свердловини. В такій ситуації оператор повинен знайти баланс між втратою циркуляції і фонтануванням свердловини.

Потенційні застосування експертних та інтелектуальних систем в даному випадку включають запобігання, діагностику розміщення і тип втраченої циркуляції, вибір матеріалів для боротьби з поглинанням бурового розчину, вибір та застосування методів усунення нештатних ситуацій.

В деяких випадках експертні та інтелектуальні системи допомоги оператора при втраті циркуляції в своїх функціональності будуть перекриватися з експертними та інтелектуальними системами по бурових розчинах. Проте, система контролю втрати циркуляції все ж проектується як вузькоспеціалізована система, спрямована вглиб, що вимагатиме значно менших затрат на розробку, ніж повнофункціональна інтелектуальна система по бурових розчинах.

Таким чином, існуючі експертні та інтелектуальні системи і їх прототипи в даній області надають експертні поради щодо проблеми втрати циркуляції, керування свердловиною та контролю гідравлічних ударів.

Під ловильними роботами розуміють процес видалення уламків або обладнання з свердловини у випадку, коли вони перешкоджають подальшому бурінню. Як правило, найбільш типовою ситуацією, пов'язаною з ловильними роботами, є виймання бурової труби, яка була або скручена, або прихоплена в свердловині. В інших випадках об'єктами можуть бути шарошки, підшипники з бурового долота, частини стабілізаторів або центраторів, талевих канатів або інструментів, які впали в свердловину з поверхні. Існує велика кількість ловильних інструментів, а саме: овершоти для виловлюван-

ня прихоплених труб, ловильні гачки для канатів, магніти і «павуки» для уламків.

Застосування експертних та інтелектуальних систем в даному випадку може допомогти персоналу бурової установки у виборі та оперуванні з відповідним ловильним інструментом. Зрозуміло, що інтелектуальна система даного класу не зменшить потреби у виконанні ловильних операцій, але може допомогти суттєво зменшити відповідний час та кошти на ловильні роботи в свердловині.

Під час буріння і спуско-підйомних операцій бурова труба часто прихоплюється в свердловині. Це може бути спричинено диференціальним тиском (як, наприклад, у випадку зони втрати циркуляції), причиною може бути також зношення та виробка бічних сторін стовбура свердловини і зношення шпоночних канавок, обсіпання або розширення формацій вище бурового долота та ін. Після виникнення прихоплення існує ряд процедур, які можуть бути застосовані для вивільнення бурової труби. В більшості випадків прости обертяння бурової труби може її звільнити від прихоплення. В більш складних випадках вивільнення бурової труби від прихоплення досягається шляхом закачування мастильної речовини. Відповідно в ще більш складних випадках необхідно залишити у свердловині прихоплену колону бурових труб. Пристрій з вибуховою речовиною поміщається над вільною точкою прихоплення колони бурових труб і після вибуху виконується відкидання прихопленої колони. Після відкидання бурова колона падає в свердловину з ловильними ясами з метою спроби послаблення прихопленої труби. Інколи може бути необхідним виконання промивання з метою заміщення наповнювача, що міг спричинити прихоплення. В інших випадках є необхідним виконання промивання ловильних інструментів з метою заміщення наповнювача, що може призвести до їх прихоплення. В сценарії найгіршого випадку може бути необхідним також залишення колони бурових труб в свердловині та виконання цементування і забурювання нового стовбура.

Застосування інтелектуальних та експертних систем дозволяє запобігти прихопленню труб, виконувати діагностику проблеми і генерувати рекомендовані процедури для її вирішення. Початковими цілями побудови інтелектуальних систем для нафтогазової промисловості були саме задачі запобігання, діагностики і вирішення проблем прихоплення колони бурових труб.

Проблеми, що можуть виникати під час цементування свердловин, включають утворення каналів у цементному розчині за обсадними трубами, забруднення цементу при бурінні або флюїдами формації гірської породи, недостатній об'єм цементу або механічні проблеми під час закачування цементу. Першим кроком до вирішення даної категорії проблем є діагностування сутності проблем. Найкращим індикатором є моніторинг повернень під час цементування робіт. Якщо повернення є меншими за очікувані і/або не виходять на поверхню взага-

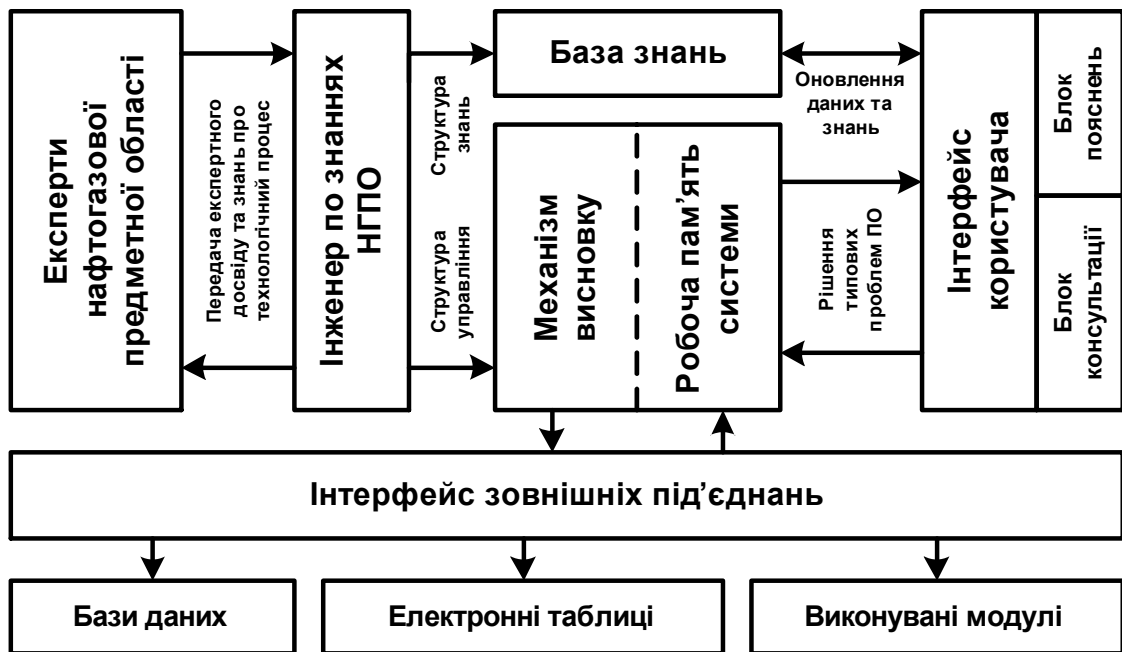


Рисунок 1 – Базові компоненти експертної системи

лі, то слід вважати, що цемент втрачений в формації гірської породи, або промивання в стовбурі свердловини результувались в більшому по об'єму стовбурі свердловини, ніж очікувалось. Якщо на поверхню виходить більше цементу, ніж очікувалося, то, можливо, що існують обширні канали нецементованої колони. Такі проблеми можуть результувати в серйозних ускладненнях пізніше в життєвому циклі свердловини, тому зазвичай є необхідно прийняти відповідні коректуючі дії якнайшвидше. Якщо існує підозра щодо поганого цементування, то оператор може виконати акустичне вимірювання об'єму цементу поза колоною або виконати коректуюче цементне стискання для заповнення проміжків та інтервалів поза колоною.

Експертна система [8] є інтерактивним комп'ютер-базованим інструмент прийняття рішень, що використовує факти і евристики для розв'язання проблем, базуючись на знаннях, отриманих від експерта предметної області, у більшості випадків у формі правил. Таким чином, експертні системи можна розглядати як комп'ютерні моделі процесу мислення людини-експерта предметної області (зокрема в нашому випадку оператора технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин).

В загальному випадку впровадження експертних систем пов'язано із зростаючою комп'ютеризацією людської діяльності, в ході якої неодмінно виникає потреба в перенесенні процесу мислення та прийняття рішень на комп'ютерну основу. Таким чином, впровадження експертної системи можна розглядати як процес моделювання послідовності вирішення проблем, що відповідно застосовується експертом. Імплементація даного процесу буде максимально ефективною у випадку, якщо в діях експерта при вирішенні певної проблеми

предметної області або деякого цілого класу проблем можна виділити деяку евристику. Оскільки реалізація кожної експертної системи є, перш за все, комп'ютерною програмою, то для її побудови можуть бути застосовані як імперативні, так і декларативні засоби. Відповідно, імперативні мови як засіб реалізації слід вибирати, коли передбачається велика кількість обчислень. В інших випадках оптимальним застосуванням буде вибір декларативного інструменту. Отже, успішність проекту створення експертної системи визначатиметься ефективністю поєднання множини фактів і множини евристик, іншими словами, вибору способу поєднання обчислювальної потужності комп'ютера із знаннями людини при вирішенні певної проблеми або класу проблем. В мінімальній конфігурації проект експертної системи матиме вигляд зображений на рисунку 1.

В даному випадку реалізуються такі складові як:

1) база знань – програмна сутність, що складається з множини правил, множини обчислювальних та декларативних процедур та множини даних, релевантних до предметної області. При реалізації бази знань відповідно основним завданням є переведення множини знань, отриманих від експерта, у множини правил та стратегій;

2) робоча пам'ять – сутність, що повинна містити дані, які відносяться до поточної проблеми, яку вирішує експертна система;

3) динаміку експертної системи забезпечує механізм висновку, який являє собою контролює механізм, що певним чином реалізовує дані, релевантні до проблеми, після чого виконує сканування бази знань з метою пошуку застосованих релевантних правил до контексту предметної області.

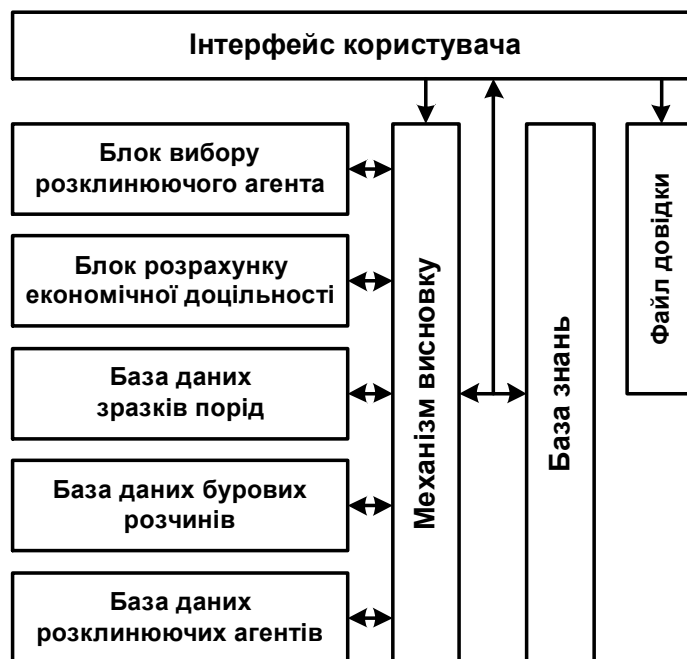


Рисунок 2 – Типові компоненти експертної системи прийняття рішень у процесі буріння

Складність реалізації експертної системи визначається складністю предметної області. Відповідно, у випадку складних предметних областей побудова експертної системи доцільна таким чином, щоб вона складалася з ряду послідовних модулів (рівнів). Загалом з точки зору теорії програмування необхідність модульної конструкції програмної реалізації є природним наслідком структури предметної області, яка в даному випадку розглядається як така, що може бути розділена на відповідно скінченну множину піддоменів, що у випадку, наприклад, нафтогазової предметної області, може представлятися існуючими базами даних зразків порід, бурових розчинів і таке ін., що представлено на рисунку 2.

Аналізуючи промислове застосування технології експертних систем, слід виділити такі успішні проекти.

Системи класу MUDMAN, PeN-LAB, MudEngineering, MUDPRO [10-11] та ін. були створені для надання допомоги оператору технологічного процесу в діагностуванні і вирішенні проблем, пов'язаних з промивальною рідиною. Крім того, дані системи допомагають в керуванні інвентарем бурової вишки, генерують звіти по підготовчих роботах та проводять інші види інженерних розрахунків. Особливістю даних систем є також те, що в процесі діагностики вони можуть використовувати невідому та розмиту інформацію. Для цього їх база знань містить дані щодо властивостей різних промивальних рідин, а також дані щодо розробки свердловин. Під час сеансів консультацій системи отримують доступ до даних з історії свердловин, яка за потреби вводиться оператором. Таким чином, системи даного класу забезпечують розподілений доступ та безпеку промислових даних.

Системи класу SECOFOR, FreePoint, StuckPipePro [10-11] та ін. створені для діагностики проблем прихоплення бурових труб у процесі буріння нафтових та газових свердловин. Системи даного класу визначають можливі причини прихоплення бурових труб і надають відповідну множину рекомендацій щодо їх усунення, мета яких полягає у вирішенні технологічних проблем, що виникли, і їх запобіганні в майбутньому. Тестування та верифікація баз правил, на основі яких функціонують дані системи, полягає у їх порівнянні з рекомендаціями експерта для заданого набору технологічних проблем. Системи даного класу постійно вдосконалюються та оновлюються шляхом розширення сфер застосування даних про свердловини, внесення до бази знань нештатних ситуацій суміжних категорій, таких як поглинання бурового розчину, нагромадження бурового розчину, स्वाбування свердловини; шляхом інтеграції з on-line-сенсорами, розширення можливостей системи шляхом використання коефіцієнтів впевненості.

Як приклад системи високого рівня комплексності та функціональності можна розглянути проект «The Drilling Expert System» [10], що складається з ряду модулів, які відповідно базуються на загальних алгоритмах та методиках буріння, що застосовуються на рівні окремих експертів промислових організацій та нафтогазових компаній. Складові системи дозволяють вирішувати наступні задачі: 1) «Планувальник свердловин» – обчислює градієнти розриву формації гірської породи, допустимий рівень тиску в стовбурі свердловини і допустимому масу бурового розчину для запобігання обвалювання стовбура свердловини; 2) «Аналізатор бурового розчину» – виконує побудову оцінок бурового розчину і генерує корегуючі рекомендації з даними, що представляють види

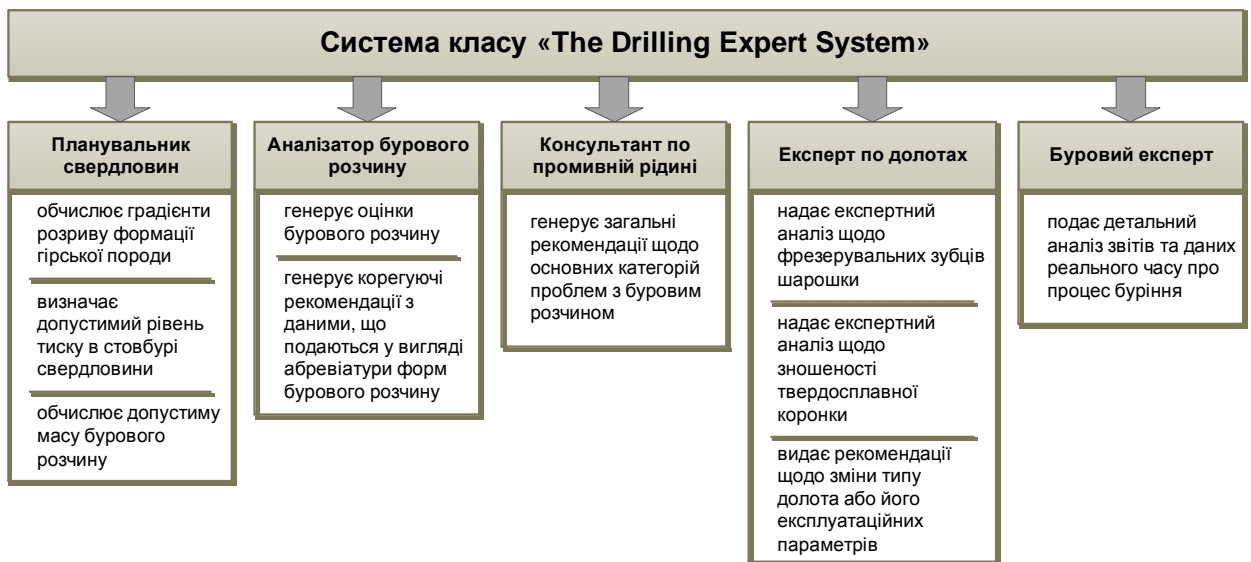


Рисунок 3 – Структура комплексної інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у процесі буріння

та форми бурового розчину; 3) «Консультант з промивної рідині» генерує загальні рекомендації щодо основних категорій проблем з буровим розчином; 4) «Експерт по долотах» – надає експертний аналіз щодо фрезерувальних зубців шарошки та щодо зношеності твердосплавної коронки і видає рекомендації щодо зміни типу долота або експлуатаційних параметрів відповідно; 5) «Буровий експерт» – подає детальний аналіз звітів та даних реального часу про процес буріння.

Таким чином, комплексні системи даного рівня – це колекція верифікованих технік і операційних вказівок для операторів технологічних процесів, що охоплюють виділені аспекти технологічного процесу нафтового і газового буріння. Описана функціональність даної системи підсумована на рисунку 3.

Інтелектуальні системи класу WELLSAF, WellControl, DrillPro [10-11] та ін. призначені для надання експертних порад персоналу бурової установки у разі виникнення гідроударів під час керування свердловиною або у разі виникнення потенційно небезпечних ситуацій, при розриві бурової колони.

Інтелектуальні системи класу ARCO Cement Advisor, BalancedCmtPlugs, CEMPRO [10-11] та ін. призначені для контролю процесу цементування та розробляються з використанням знань провідних експертів з цементування нафтових та газових свердловин. Дані системи допомагають у формуванні складу цементних розчинів і наповнювачів. Також вони допомагають користувачу в проектуванні вихідного цементу, після чого задають вибір необхідних компонентів для досягнення специфікованих вимог. Також системи даного класу можуть здійснювати критичний аналіз представленого проекту рішень. Для підтримки описаної функціональності бази знань таких систем складаються з декількох тисяч правил.

Інтелектуальні системи класу CASES, CasingDesign, CeraPhi [10-11] та ін. надають експертну підтримку при проектуванні конфігурації обсадної колони для нафтових і газових свердловин. Дані системи побудовані з використанням інформації на основі польового досвіду в умовах жорстких вимог щодо проектування, а також підтримують аналітичні функції, які можуть бути реалізовані на комп'ютері. Системи використовують накладені геологічні обмеження, регуляції щодо використання специфікованих насосно-компресорних труб.

Рівень систем автоматизації процесів нафтового та газового буріння постійно розширюється і удосконалюється, проте системи автоматизації та їх складові є різними. Тому застосування процесів автоматизації тією чи іншою мірою розглядається в системах контролю бурового розчину, вкладання колони обсадних труб, а також інших видів бурових операцій.

Такі засоби автоматизації базуються на ряді вимірювань, що виконуються в сучасних технологіях буріння, які, відповідно, дають змогу визначати властивості бурового розчину, параметри процесу буріння, проводити дослідження обсадної колони, вимірювання на вибої свердловини (включаючи вимірювання під час буріння), прямі вимірювання та ін. Дані вимірювання допомагають операторам технологічного процесу в задачах моніторингу прогресу процесу буріння свердловини і забезпечують інформацією, що дозволяє оптимізацію і підтримку безпеки процесу буріння.

Застосування методів штучного інтелекту в бурінні свердловин дозволяє зв'язати аспекти автоматизації з рівнем давачів, що дозволить виконувати моніторинг прогресу процесу буріння свердловини, а також з рівнем систем керування з метою оптимізації ефективності процесу буріння.

Таким чином, технологічний процес, в якому застосовуються елементи штучного

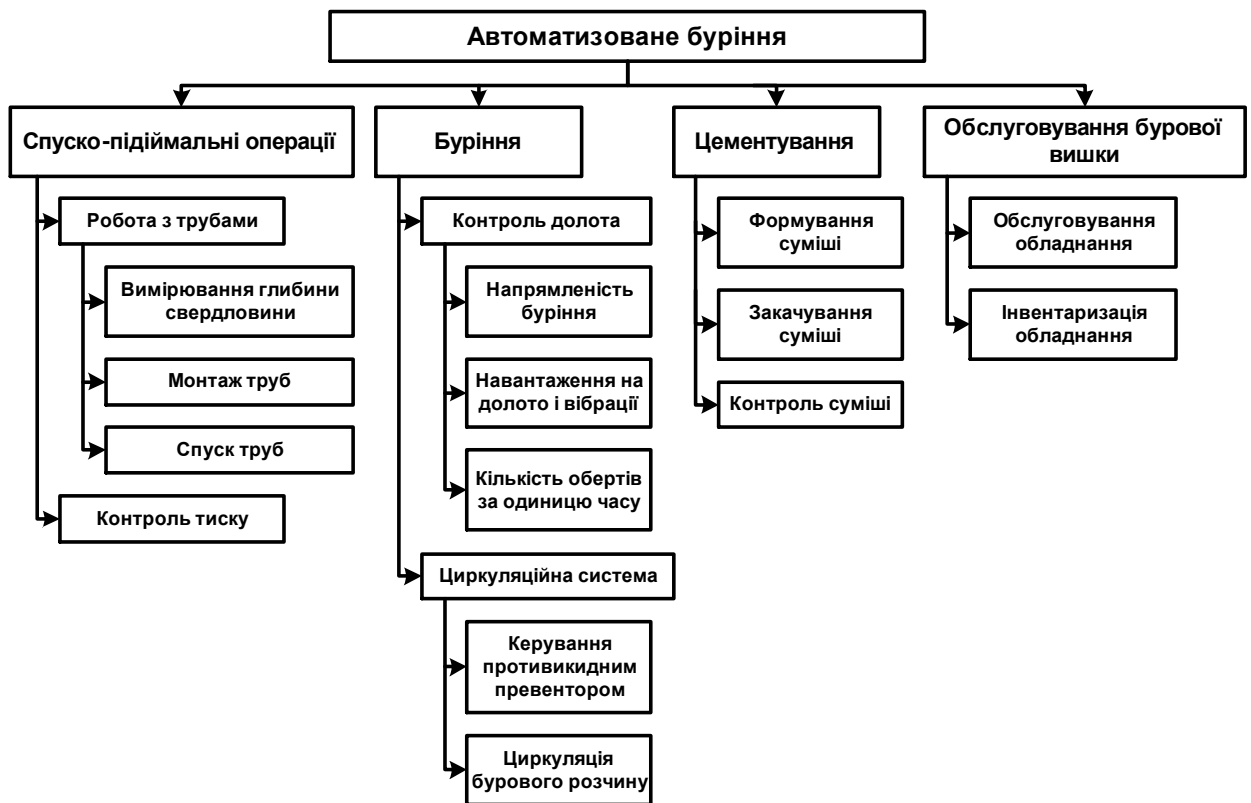


Рисунок 4 – Структурна концептуальна схема застосування штучного інтелекту в процесі автоматизації буріння

інтелекту, повинен бути здатним оперувати без супервайзингу з боку оператора під час нормального перебігу технологічного процесу, а також він повинен бути здатним розпізнавати технологічну проблему, якщо така виникає. Під час процесу розпізнавання технологічної проблеми система видаватиме попередження для персоналу бурової, і також система здатна приймати деякі початкові кроки до усунення проблеми або виконувати повний комплекс заходів щодо її усунення.

Наприклад, якщо в свердловині виникає різке підвищення тиску, то система автоматично зупиняє процес буріння, виконує промивання свердловини з метою підготовки обваженого бурового розчину. Важливість факту, що система може сама приймати рішення про деякі коректуючі дії полягає в тому, що персонал бурової отримує можливість оцінити проблему і спланувати максимально ефективну послідовність дій для її усунення.

На рисунку 4 подано структурну концептуальну схему застосування штучного інтелекту в процесі автоматизації буріння. Зважаючи на надвелику складність процесів буріння нафтових та газових свердловин, застосування засобів штучного інтелекту в промисловому бурінні розглядається як частина відповідної людино-машинної системи. Отже, концептуальна схема, представлена на рисунку 4, є функціональною з розрахунком на участь персоналу в процесі буріння. Тому основний акцент ставиться на складові максимізації ефективності процесу буріння.

Проте, для ряду складових процесу буріння задачі автоматизації та інтелектуалізації не є застосовними взагалі, а саме: 1) технічне обслуговування і поточний ремонт бурової установки; 2) замовлення, доставка і заміна запасних деталей; 3) вирішення проблем буріння, що безпосередньо не пов'язані з буровою колоною.

Тому впровадження систем з штучним інтелектом в задачі автоматизації буріння можна поділити на ряд категорій, а саме: гідравліка свердловини, робота з трубами, діагностика труб, контроль бурового долота.

Основним призначенням бурової установки є буріння свердловини, тому бурове долото, розміщене на кінці бурової колони, є основною складовою, що вирішує дану задачу. Всі інші системи і компоненти бурової установки можна розглядати як такі, що уможливають виконання основної задачі буровим. Отже, контроль бурового долота є первинною ціллю для процесів оптимізації, що базуються на штучному інтелекті.

В задачі контролю роботи долота виділяють дві складові: глибина проходки та напрямки буріння. При цьому долото повинно не тільки поглиблювати свердловину, а й виконувати буріння у заданому в проекті напрямі. Наприклад, прямолінійна або похила свердловина. Обидві задачі можуть вирішуватися інтелектуальною системою керування долотом.

На рисунку 5 зображено концептуальну структурну схему інтелектуальної системи контролю роботи долота. В процесі функціонування системи виконуються вимірювання параметрів

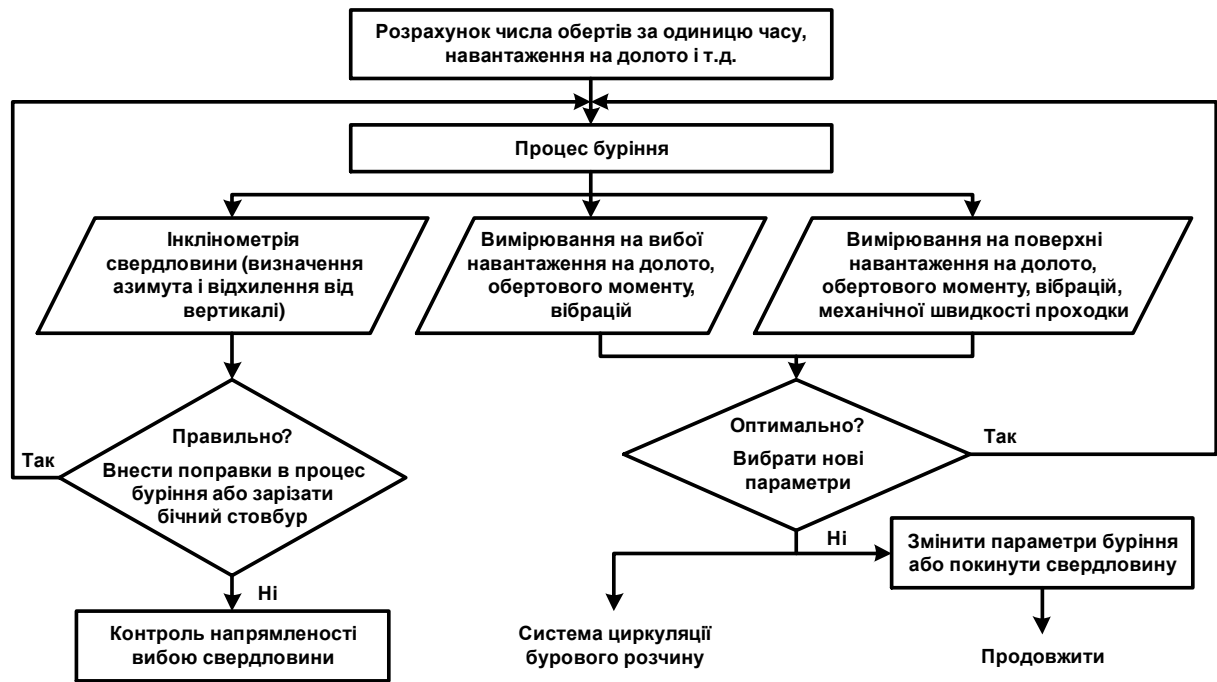


Рисунок 5 – Концептуальна структурна схема контролю долота на основі методів штучного інтелекту

рів буріння на поверхні і на вибої свердловини. Такі вимірювання будуть інтерпретуватися системою з елементами штучного інтелекту подібно до того, як це виконується у випадку експертної системи. Хоча завдання експертної системи полягає у виведенні даних в інтерфейс, прийнятний для оператора-людини, в той час як система на основі штучного інтелекту здійснює прямий машинний контроль. Проте в будь-якому випадку метою такого процесу є визначення того факту, чи процес буріння проходить згідно планових установок, наприклад, чи похилість стовбура свердловини відповідає заданим параметрам. Таким чином, базуючись на вимірюванні параметрів формації гірської породи і прогресу бурового процесу загалом та знаннях про долото і характеристики бурової колони, система може оптимізувати параметри буріння. Також система дає можливість виконувати моніторинг зношеності долота з метою модифікації параметрів буріння для оптимізації співвідношення між зношенням долота (як показника життєвого циклу долота) і швидкістю проходки. Нештатним ситуаціям, таким зокрема як прихоплення і обрив внаслідок скручування, в деяких випадках можна запобігати, оскільки можливим є те, що вібрації бурової колони і крутний момент можуть давати інформацію про назріваючі проблеми в даній області. Застосовність даного методу забезпечується також взаємодією даної системи з іншими системами, що використовують засоби штучного інтелекту, наприклад з системою бурових розчинів.

Функціональність застосування системи штучного інтелекту зводиться до відправки сигналів на контролер з метою модифікації параметрів буріння через відповідні інструкції.

На теоретичному рівні вимірювання, інтерпретація і керування матимуть місце або на поверхні, або на вибої, або в обох місцях одночасно. Іншою можливістю, що надається системою, є повний контроль всіх засобів на вибої, включаючи вибійний турбінний двигун, долото та давачі.

Багато окремих компонент, що роблять контроль долота інтелектуальним, уже існують в певній формі, а інші можна створити засобами існуючої технології. Так, наприклад, поверхневі давачі уже існують для моніторингу багатьох важливих параметрів буріння. Відповідно, давачі на вибої, що є реалізованими в сучасних системах вимірювання процесів буріння, можуть вимірювати і передавати на поверхню дані, які відносяться до контролю похилості стовбура свердловини та параметрів формації гірської породи.

Потенційні переваги, що можуть бути отримані від застосування інтелектуальних систем процесу буріння, включають вищу швидкість проходки, збільшений життєвий цикл долота, покращений контроль похилості стовбура свердловини, реальні виявлення можливих прихоплень, реальні виявлення обривів внаслідок скручування. При створенні таких систем виходять з наступних перспективних цілей оцінки їх потенційного впливу на технологічний процес: зниження вартості обертання нижче направляючої обсадної колони при збільшенні швидкості проходки вдвічі і без змін в життєвому циклі або вартості долота, а також зниження частоти прихоплень, обривів внаслідок скручувань і забурювання бічних стовбурів.

Таким чином, зрозуміло, що впровадження таких систем полягатиме в значному збільшенні ефективності бурової установки.

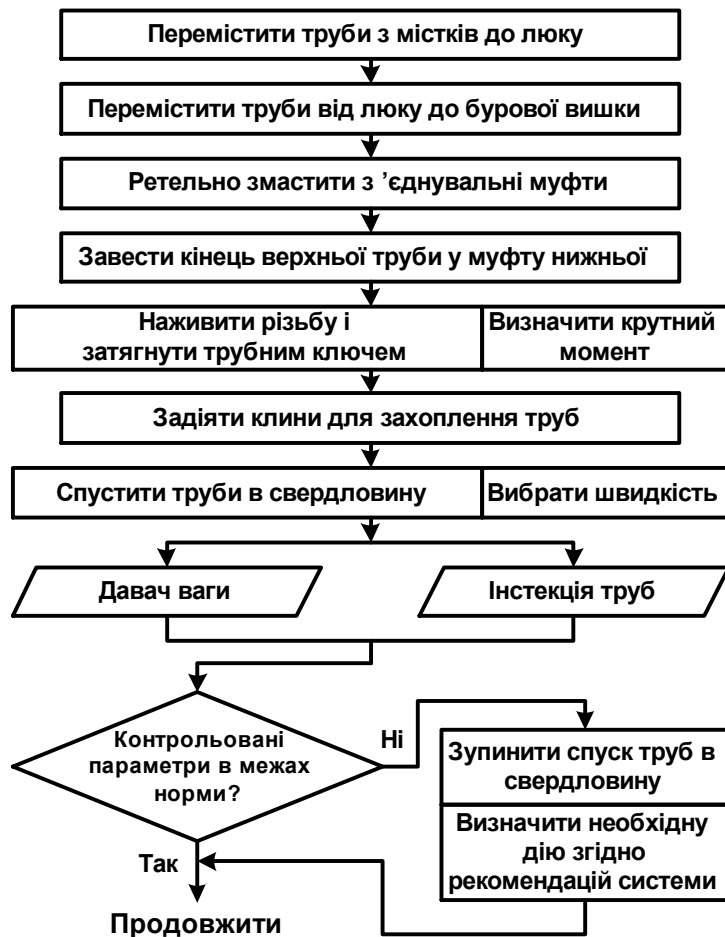


Рисунок 6 – Концептуальна схема інтелектуальної системи роботи з трубами

Система роботи з трубами контролює процес укладання бурових труб в штабель. Система контролює рух труб з штабеля на бурову вишку. Також система контролює спуско-підйомні операції в та з свердловини, а також додає з'єднання до бурової колони (якщо це необхідно) в процесі буріння.

Вимірювання в даному процесі включають навантаження на гак, позицію талевого блоку і об'єм рідини в доливному резервуарі. Система отримуватиме також вхідні дані з інших систем бурової установки, зокрема з системи контролю долота і системи контролю гідравліки бурової установки.

Система штучного інтелекту буде інтерпретувати вимірювання з метою визначення звужень стовбура свердловини, завад, свабування свердловини, викидів та інших явищ, що можуть траплятися в процесі буріння. Якщо дані явища та процеси вимагатимуть негайних дій, то система вирішить, які дії є необхідними та реалізує їх.

Багато з компонентів інтелектуальної системи роботи з трубами, представлених в концептуальній схемі на рисунку 6, існують та застосовуються в процесі буріння.

Новітні системи даного класу використовують online-вимірювання і обробку інформації під час спуско-підйомних операцій. Крім того,

реалізація таких систем показала необхідність перенесення елементів штучного інтелекту на рівень контролерів.

Таким чином, інтелектуальна система роботи з трубами дає змогу покращити ефективність і швидкість спуско-підйомних операцій в свердловині, хоча можлива економія коштів тут обмежується кількістю часу, необхідного для виконання під'єднань бурових труб.

В той же час, фактична швидкість підняття і опускання колони бурових труб не обмежується обладнанням, а обмежується установками щодо запобігання свабування свердловини. Крім того, інтелектуальна система роботи з трубами може також виявляти і приймати невідкладні дії для запобігання прихопленню бурової колони.

Запобігання обривам внаслідок скручування теж може здійснюватися системою завдяки кращій контрольованості крутного моменту, що виникає при з'єднанні бурових труб.

Як цілі проектованої системи можна встановити зменшення часу, необхідного на спуско-підйомні операції, зниження частоти прихоплення бурової колони та обривів внаслідок скручувань. Загалом вважається, що повністю автоматизована система роботи з трубами результуватиме в збільшенні загальної ефективності роботи бурової установки.

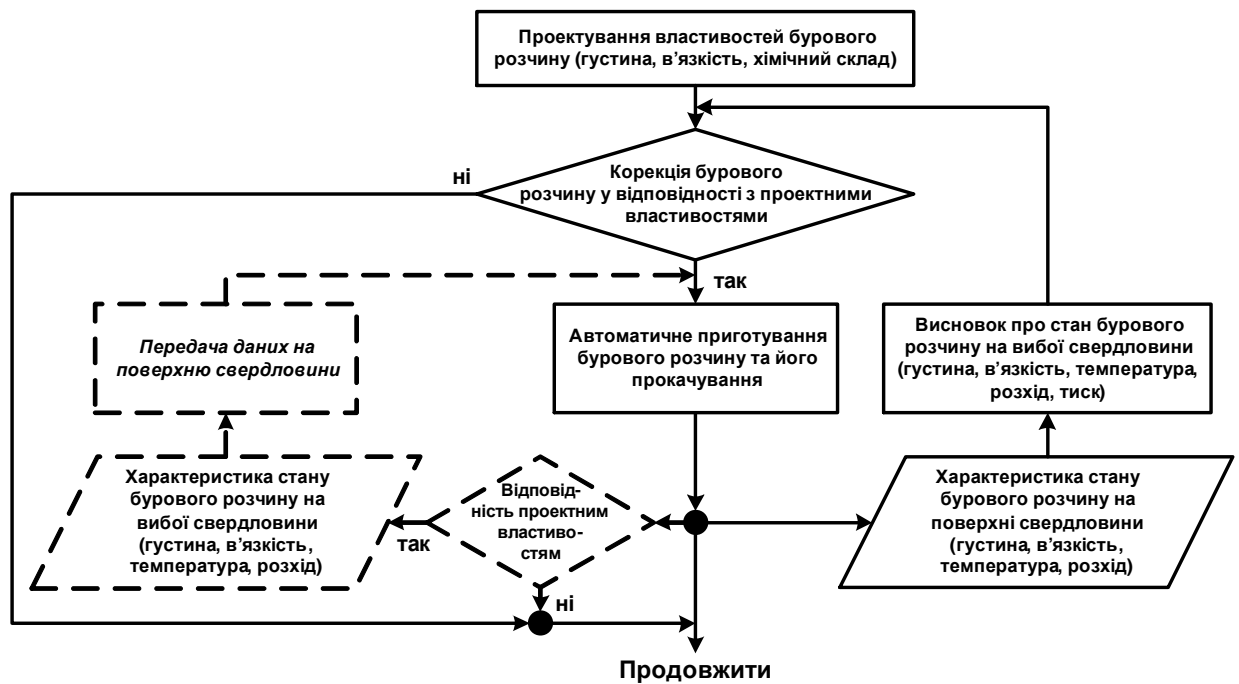


Рисунок 7 – Концептуальна схема інтелектуальної системи контролю бурового розчину

Пошкодження та несправності в колоні бурових труб призводять до обривів бурової колони внаслідок скручування, що розглядається як серйозна проблема в бурінні. Обрив внаслідок скручування, як правило, виникає на з'єднаннях інструменту, що ослабли, можливо, через некоректний крутний момент з'єднання або агресивні умови в свердловині. Сучасні технології полягають в тестуванні витрати рідини в обважених бурових трубах, а також замкового з'єднання на поверхні свердловини, якщо виникає підозра виникнення певної проблеми, що часто має місце після виникнення обривів внаслідок скручування.

Відомий метод електромагнітного дослідження, що дозволяє тестувати бурові труби на предмет механічного зношення і корозії. Даний пристрій вимірює товщину стінки труби і, відповідно, інтелектуальна система ідентифікує області з товщиною стінки, що не відповідають уніфікованим значенням. Додатково існує можливість вимірювання параметрів, відмінних від товщини стінки, наприклад, пошук внутрішніх дефектів. Такі вимірювання можуть бути виконані, якщо труба опускається в свердловину або витягується з свердловини і, відповідно, інтелектуальна система виконає оцінку сигналу труби, а також ідентифікує з'єднання, де існують дефекти.

Як основну ціль впливу системи на технологічний процес буріння слід очікувати зменшення кількості обривів внаслідок скручування та збільшенні ефективності бурової установки в продуктивній зоні.

Сутність гідравлічної системи бурової установки полягає в контролі циркуляції бурового розчину під час технологічного процесу буріння. Виділені властивості бурового розчину, такі як в'язкість, густина, механічні доміш-

ки, хімічний склад повинні утримуватись в рамках певних граничних діапазонів, інакше буде спостерігатись негативний вплив на ефективність процесу буріння.

Гідравлічна система включає такі компоненти: 1) буровий насос, що забезпечує зусилля для закачування бурового розчину вниз бурової колони і повернення її угору затрубним простором; 2) резервуари для зберігання бурового розчину, що не знаходяться в свердловині в даний момент; 3) вібраційне сито, що відсіює уламки та домішки з повернутого бурового розчину.

Потенційна область застосування штучного інтелекту для систем роботи з буровим розчином дозволяє включати давачі для моніторингу стану бурового розчину і поточного статусу процесу буріння. Інтелектуальна система повинна включати в себе базу даних властивостей формації гірської породи, а також попередні дані щодо буріння даної або інших свердловин.

Інтелектуальний контролер отримує інформацію даного класу, вибирає коректний напрям технологічних операцій і відсилає сигнали до автоматичної системи, яка виконує змішування бурового розчину шляхом додавання необхідних інгредієнтів з метою отримання виділених властивостей. Додатково також включаються підсистема ідентифікації умов технологічних проблем і видачі повідомлень про аварійні ситуації. Концептуальна схема такої системи представлена на рисунку 7.

Як і в попередніх випадках, багато компонентів інтелектуальної системи бурового розчину вже існують в тому чи іншому вигляді. Комп'ютеризовані пристрої для контролю стану і властивостей бурового розчину дозволяють вимірювати властивості бурового розчину та аналізувати їх.

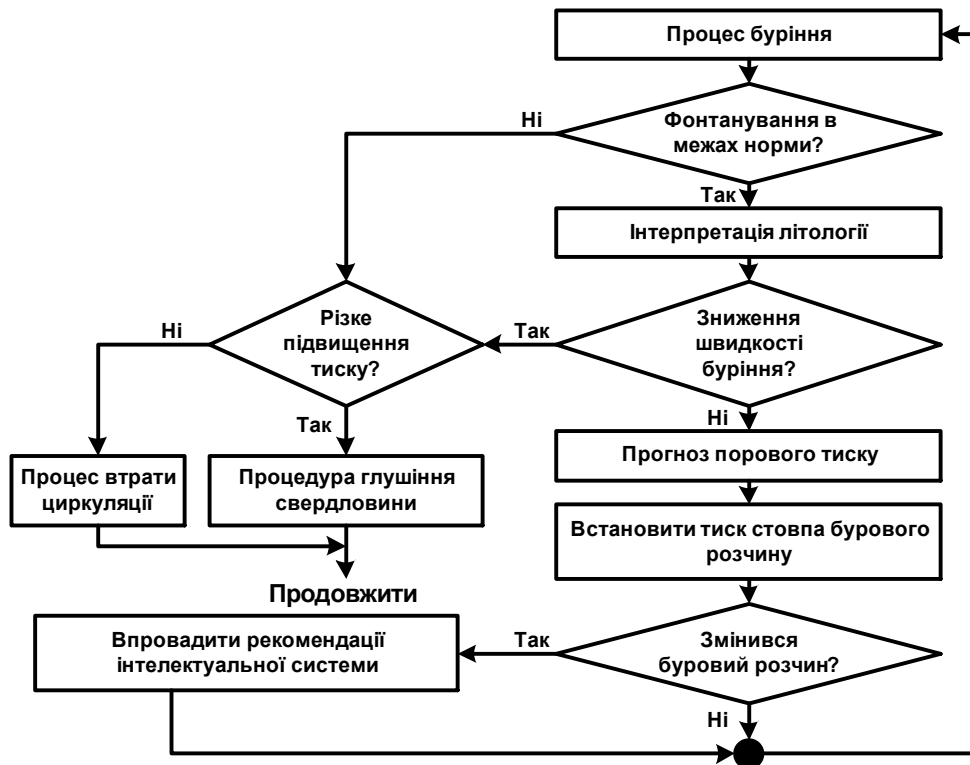


Рисунок 8 – Концептуальна схема інтелектуальної системи контролю свердловини

Потенційна економія коштів від застосування інтелектуальної системи керування буровим розчином може включати покращення ефективності буріння, зменшення технологічних проблем буріння свердловини пов'язаних з буровим розчином, а також пряму економію коштів, пов'язану з вартістю самого бурового розчину. Така система може також здійснювати моніторинг технологічної операції цементування, тобто іншими словами ідентифікацію зв'язаних можливих технологічних проблем ще на початку виконання певної технологічної операції. Оскільки проєктована система здатна реагувати на технологічні проблеми швидше чим людина-оператор, то вона також імовірно буде більш ефективною з точки зору запобігання аварійним ситуаціям в процесі буріння.

Таким чином, створення автоматизованої інтелектуальної системи контролю бурового розчину може орієнтуватися на досягнення наступних цілей: збільшення в швидкості проходки нижче направляючої обсадної колони, зменшення частоти осипання стовбура свердловини, зниження у втраті циркуляції і виникненні прихоплень. Оскільки інтелектуальна автоматизована система контролю гідравлічних властивостей може бути використана для моніторингу операції цементування, то це дозволить ідентифікувати нештатні проблеми швидше, ніж в загальному випадку, а також дозволить зменшити час і вартість усунення проблем, пов'язаних з цементуванням.

Обладнання контролю тиску у свердловині використовується для контролю свердловини у випадках, коли мають місце фонтанування і нерегульований викид.

Незважаючи на те, що дані задачі є інтегральною частиною гідравлічної системи бурової установки, в даному випадку вони розглядаються як незалежні складові сутності, оскільки є можливою побудова окремої інтелектуальної автоматизованої системи контролю нерегульованих викидів незалежно від гідравлічної системи, що утворюється буровим розчином.

Компоненти інтелектуальної системи контролю тиску в свердловині повинні включати давачі для контролю тиску і густини рідини, а також алгоритми для розпізнавання умов виникнення аварійних ситуацій і задач контролю та оперування з засобами запобігання фонтанування, а також обваження бурового розчину, (рис. 8).

В даному випадку потенційна економія від впровадження інтелектуальної системи контролю тиску в свердловині полягатиме в економії коштів, що виникатиме завдяки запобіганню фонтанування і нерегульованих викидів.

Висновки. Подані в даній роботі результати свідчать, що експертні та інтелектуальні системи на основі баз даних та знань мають широке застосування в процесі буріння нафтових та газових свердловини, зокрема, в таких технологічних процесах, як: проєктування і планування свердловин, оптимізація процесу буріння, запобігання і вирішення типових нештатних ситуацій, що виникають в процесі буріння. Новітні системи даного класу дозволяють доступ безпосередньо з офісу для процесів планування, що передують технологічному процесу буріння, або безпосередньо з бурового майданчика під час реалізації процесу буріння.

Залежно від комплексності задачі інтелектуальні системи даного класу розробляються для застосування на всьому спектрі обчислювальних засобів від mainframe-станцій до смартфонів. Проте, звичайно, найбільше застосувань орієнтована на персональні комп'ютери.

Визначено основні області застосування та функціональність інтелектуальних систем на основі баз даних та знань, а саме для технологічних процесів, таких як проектування кріплення свердловини, проектування процедури цементування, процедури керування буровим долотом, проектування властивостей бурового розчину, проектування компоновки низу бурової колони та як засоби підтримки прийняття рішень щодо усунення нештатних ситуацій, які виникають в процесі буріння: втрата циркуляції, проблеми з обсадною колоною, проблеми цементування, ловильні роботи, забурювання нового стовбура, обрив внаслідок скручування, прихоплення бурових труб, осипання стовбура свердловини.

Основною перевагою застосування методології штучного інтелекту є можливість оптимізації виділених технологічних процесів за факторами часу та вартості.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку комплексної інтелектуальної системи на основі баз даних та знань, що дозволить підтримку прийняття рішень при оптимізації технологічного процесу буріння нафтових та газових свердловин.

Література

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

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

3 Демчина М. М. Використання нечітких правил для представлення знань в інтелектуальних системах нафтогазової предметної області // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2012. – №1. – С. 86-98.

4 Юрчишин В. М. Інформаційне моделювання нафтогазових об'єктів : монографія / В. М. Юрчишин, В. І. Шекета, О. В. Юрчишин. – Івано-Франківськ: Вид-во Івано-Франківського нац. техн. ун-ту нафти і газу, 2010. – 196 с.

5 Басарыгин Ю. М. Бурение нефтяных и газовых скважин: учеб. пособие для вузов / Ю. М. Басарыгин, А. И. Булатов, Ю. М. Проселков. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 632 с.

6 Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин: учебник для нач. проф. образования / Ю.В. Вадецкий. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 352 с.

7 Mitchell B. Advanced Oil well drilling engineering: Handbook & computer programs. – 10th Edition – 1st Revision. – July 1995. – 626 s.

8 Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту та підтримки прийняття рішень: навчальний посібник / С. О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.

9 Люгер Дж. Ф. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем; под ред. Н. Н. Куссуль / Дж. Ф. Люгер. – 4-е изд. – М.: Вильямс, 2005. – 864 с.

10 The complete package of software for the man on the rig [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.drillingsoftware.com>.

11 Drilling Software [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.pvicom.com/drilling-software.html>.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
10.07.12*

*Рекомендована до друку професором
В.М. Юрчишином*