

Дмитрук О.І., здобувач, 185А-24-10, АСП

Науковий керівник: Пашенко О.А., к.т.н., доцент кафедри НГІБ

(Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро, Україна)

ОГЛЯД СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ І ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В ПРОЦЕСАХ БУРІННЯ

Штучний інтелект (ШІ) став ключовим інструментом у нафтогазовій промисловості, зокрема в бурінні свердловин, де традиційні методи часто стикаються з високою невизначеністю геологічних умов, ризиками аварій і значними витратами. Застосування алгоритмів машинного навчання (МН), нейронних мереж і систем на основі великих даних дозволяє оптимізувати траєкторію буріння, прогнозувати ускладнення та підвищувати ефективність видобутку. У цій статті розглянуто основні механізми інтеграції ШІ в буріння, з акцентом на емпіричні дані та математичні моделі.

Буріння свердловин є багатопараметричним процесом, що включає механічне руйнування породи, циркуляцію бурового розчину та контроль тиску. Традиційні підходи базуються на фізичних моделях, таких як рівняння Герца для контакту долота з породою або гідродинамічні рівняння Нав'є-Стокса для потоку флюїдів. Однак ці моделі чутливі до шумів у даних і не враховують нелінійні взаємодії. ШІ вирішує цю проблему шляхом навчання на історичних даних.

Одним з перших кроків інтеграції ШІ є прогнозування літологічного складу породи. Алгоритми МН, такі як випадкові ліси (Random Forest) або градієнтний бустинг (XGBoost), аналізують сейсмічні дані, каротажні криві та параметри буріння в реальному часі. Наприклад, модель може бути навчена на наборі даних з тисяч свердловин, де входними змінними є швидкість проходження (ROP, rate of penetration), крутний момент і вібрації, а вихідною – тип породи. Математично це описується як:

$$y = f(X; \theta), \quad (1)$$

де y – прогнозована літологія, X – матриця входних фіч, θ – параметри моделі, оптимізовано за функцією втрат, наприклад, крос-ентропією для класифікації.

Експерименти на родовищах Північного моря показали, що ШІ-моделі знижують помилки прогнозу на 25 – 40% порівняно з детермінованими методами. У роботі компаній на кшталт Schlumberger застосовують глибокі нейронні мережі (DNN) для обробки 3D-сейсміки, де згорткові шари (CNN) витягують просторові ознаки.

Оптимізація траєкторії буріння – ще одна критична область. Горизонтальне буріння в сланцевих формаціях вимагає точного уникнення зон з високим ризиком. Системи на основі підсилювального навчання (Reinforcement Learning, RL), такі як Q-learning або Deep Q-Network (DQN), моделюють буріння як марковський процес прийняття рішень (MDP). Стан s_t включає координати долота, кут нахилу та геомеханічні параметри; дія a_t – коригування кута або швидкості; винагорода r_t – мінімальна відстань до цільової зони мінус витрати на енергію.

Формально:

$$Q(s, a) = \mathbb{E}[r_t + \gamma \max_{a'} Q(s', a') \mid s_t = s, a_t = a], \quad (2)$$

де γ – дисконт-фактор. Симуляції на цифрових двійниках (digital twins) свердловин, створених за допомогою ШІ, дозволяють тренувати агента офлайн, а потім застосовувати онлайн. Дослідження в Permian Basin (США) продемонстрували скорочення часу буріння на 15% і зменшення відхилень від плану на 30%.

Прогнозування та запобігання ускладненням, таким як прихват долота (stuck pipe) або приплив флюїдів (kick), базується на ансамблевих моделях. Сенсори на буровій установці генерують потік даних з частотою до 1 кГц: тиск, температура, вібрації. ШІ

обробляє це за допомогою рекурентних нейронних мереж (RNN) або LSTM (Long Short-Term Memory), які виявляють аномалії в часових рядах.

Наприклад, модель LSTM навчається на послідовностях:

$$h_t = \sigma(W_{xh}x_t + W_{hh}h_{t-1} + b_h), \quad (3)$$

$$o_t = \sigma(W_{ho}h_t + b_o), \quad (4)$$

де аномалія детектується, якщо відхилення від прогнозу перевищує поріг, розрахований за статистичними методами (наприклад, Z-score). У практиці на офшорних платформах Норвегії такі системи зменшують простой на 50%, запобігаючи аваріям вартістю мільйони доларів.

Інтеграція ШІ з роботизованими буровими системами (automated drilling rigs) дозволяє автономне керування. Компанії як Nabors використовують edge computing для локального виконання моделей ШІ на буровій, зменшуючи латентність. Гібридні підходи поєднують фізико-інформоване МН (Physics-Informed Neural Networks, PINN), де нейронна мережа навчається з урахуванням диференціальних рівнянь, наприклад, для моделювання пористості:

$$\frac{\partial p}{\partial t} = \nabla \cdot (k\nabla p) + q \quad (5)$$

з втратами, що включають як дані, так і фізичні обмеження.

Перспективи розвитку включають мультимодальні моделі, що поєднують текстовий аналіз звітів буріння (NLP), зображення (computer vision для доліт) і часові ряди. Квантове МН може прискорити оптимізацію в багатовимірних просторах. Виклики: якість даних (потрібна стандартизація), етичні аспекти (автономні рішення) та кібербезпека.

ШІ трансформує буріння з емпіричного процесу в даних-драйвену науку, підвищуючи ефективність і безпеку. Подальші дослідження повинні фокусуватися на валідації моделей у реальних умовах і розробці стандартів інтероперабельності.

Список використаних джерел:

1. Cao, J., Muhammad, R. B., Gocmen, E., Nabavi, J., & Oedegaard, S. I. (2025). Development of the AI Drilling Agent: AI-Physics Hybrid Model for Accurate, Adaptive and Autonomous Decision-making. In SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition. SPE/IADC International Drilling Conference and Exhibition. SPE. <https://doi.org/10.2118/223828-ms>
2. Ponomareva, D., Droubi, N. E., Jundi, O. E., Assaf, G., Mustapha, H., & Kindi, Z. A. (2024). Domain Driven Methodology Adopting Generative AI Application in Oil and Gas Drilling Sector. In ADIPEC. ADIPEC. SPE. <https://doi.org/10.2118/221883-ms>
3. Gu, C., Xu, T., Lye, J., Ødegård, S. I., & Cao, J. (2024). A Journey Towards Safer and Faster Drilling: Real-Time Advisory With Digital Twins and AI. In Volume 8: Offshore Geotechnics; Petroleum Technology. ASME 2024 43rd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering. American Society of Mechanical Engineers. <https://doi.org/10.1115/omae2024-126332>
4. Behounek, M., & Ashok, P. (2023). The Secrets to Successful Deployment of AI Drilling Advisory Systems at a Rig Site: A Case Study. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. SPE. <https://doi.org/10.2118/215132-ms>