

**ВІБРАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ БУРІННЯ СВЕРДЛОВИН**

При бурінні гірських порід виникають сильні вібрації в бурильній колоні, які можуть викликати зменшення швидкості проходки (ROP) і передчасний вихід обладнання з ладу. Єдиним засобом обмеження вібрації в процесі буріння є зміна швидкості обертання або навантаження на долото (weight-on-bit, WOB). Ці зміни часто призводять до зниження ефективності буріння.

Існує ряд джерел вібрації бурової установки, які потенційно можуть знизити механічну швидкість проходки та викликати пошкодження її елементів та датчиків. Аналіз частотних характеристик вібрацій, що виникають у процесі функціонування бурової установки, показав наявність різних частотних діапазонів щодо окремих її технічних компонентів. Так, різні компоненти бурового обладнання викликають вібрації з частотою такого порядку: обертання долота – 1000 Гц, переривчасте переміщення долота 10 Гц, пряма прецесія – 10 Гц, зворотна прецесія – 100 Гц [1]. Також вібрації, які генерують ці компоненти, суттєво відрізняються за амплітудою.

Запропоновано метод контролю стану бурового обладнання із використанням датчиків вібрації, що розміщуються на буровій колоні. Необроблені дані за цим методом є вимірними значеннями прискорення в трьох вимірах (X, Y, Z). Оскільки компонент сили тяжіння впливає на дані щодо прискорення, виміряні дані нормалізуються у кожному напрямі. Стан технологічного обладнання та всі виконувані ним операції в процесі контактної взаємодії з середовищем формують характерну картину у частотній області. Тому пропонується використовувати генерований датчиками вібрації спектр потужності прискорення та аналізувати його особливості. У ході спектрального аналізу відбувається його перетворення з часової області на частотну. Цифрова обробка сигналів провадиться за допомогою швидкого перетворення Фур'є (FFT). Далі аналізується амплітудно-частотна характеристика та виконується класифікація сформованих сигналів. Одна з основних проблем при побудові моделей класифікації пов'язана із незбалансованим характером набору даних. Відомі чотири типи рішень цієї проблеми: адаптація класифікатора, ансамблеві підходи, чутливі до вартості методи та методи повторної вибірки. Найбільш популярними методами є методи повторної вибірки, які можна розділити на дві категорії: недостатня вибірка для видалення вибірок, пов'язаних із міткою більшості, або надмірна вибірка для створення нових вибірок, пов'язаних із міткою меншості. Для вирішення поставленої задачі оптимізації процесу буріння досліджено вдосконалений метод передискретизації синтетичної меншості (SMOTE). Цей метод використовує алгоритм k-найближчих сусідів для створення синтетичних прикладів уздовж відрізків лінії, що з'єднують будь-який з k-сусідів меншості даних, що класифікуються. Удосконаленим варіантом методу SMOTE є Borderline-SMOTE, алгоритм якого генерує синтетичні дані лише на межі класів, підвищуючи ефективність класифікації [2].

Для зменшення негативного впливу вібрацій, що виникають у бурильній колоні під час буріння гірських порід, запропоновано математичну модель, яка дозволяє враховувати параметри процесу буріння для прогнозування швидкості проходження свердловини. В процесі апробації моделі процесу буріння в якості входних змінних використовувалися такі параметри: навантаження на долото (WOB), швидкість обертання долота (RPM), момент, що крутить, питома енергія руйнування (MSE), величини поздовжніх, поперечних і крутильних вібрацій. Результуючою змінною в даному дослідженні вибрано швидкість буріння свердловини (швидкість проходки ROP). Математична модель процесу буріння з урахуванням названих параметрів формувалася з урахуванням адаптивних нейро-нечетких структур. Точність цієї моделі становить 95,56%.

*Список літератури*

1. **M. E. Cobern.** Downhole vibration monitoring & control system : Phase I final report. APS Technology. 2004.
2. **Alex Kummer, Tamas Ruppert, Tibor Medvegy, Janos Abonyi.** Machine learning-based software sensors for machine state monitoring. - The role of SMOTE-based data augmentation. - Results in Engineering 16 (2022) 100778. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100778>.