

Николаєнко І. В., студент III курсу

Горба Д. В., студент III курсу

Державний університет «Житомирська політехніка»

ПРОГНОЗУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСКАВАТОРНИХ РОБІТ: ПОРІВНЯННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ПІДХОДІВ ТА МЕТОДІВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Ефективне планування роботи кар'єрних екскаваторів є критично важливим для будь-якого гірничодобувного підприємства. Від точності прогнозу продуктивності залежить планування всього логістичного ланцюга: робота автосамоскидів, дробильно-сортувальних комплексів та виконання контрактів на поставку.

Проблема полягає в тому, що традиційні методи планування часто дають значну похибку. Вони базуються на усереднених "паспортних" або нормативних показниках, які не враховують реальних, мінливих умов на кар'єрі. Штучний інтелект (ШІ) пропонує інструменти для створення *динамічних* моделей, що враховують десятки факторів у режимі реального часу, та дають значно точніший прогноз.

Мета роботи – порівняти точність традиційних методів прогнозування продуктивності екскаваторів з сучасною моделлю на базі штучного інтелекту та довести переваги останньої для оперативного управління роботами.

Існує два кардинально різні підходи до прогнозування продуктивності.

Перший – це традиційний (нормативний) метод. Його суть полягає в розрахунку продуктивності (П) за формулами, що базуються на паспортній ємності ковша (V_k), середньому часі циклу (T_c), коефіцієнті заповнення ковша (k_z) та коефіцієнті розпушення породи. Ці показники беруться з довідників і є усередненими. Проблема цього методу в тому, що він статичний і не враховує реальні умови "тут і зараз". Він ігнорує такі критичні фактори, як геологія (чи є порода міцнішою на цій ділянці?), якість БПР (чи є негабарити?), кваліфікація оператора (досвідчений чи новачок?) та реальний стан машини (чи не зношені зуби ковша?). Як результат, план на зміну може бути 500 т, а факт – 350 т, що створює дисбаланс та призводить до простою самоскидів.

Другий – це метод на основі штучного інтелекту (машинного навчання). Тут створюється математична модель (наприклад, нейронна мережа), яка "навчається" на реальних історичних даних з кар'єру. Модель аналізує дані з IoT-сенсорів екскаватора (тиск в гідравліці, вага в ковші, витрата палива, фактичний час кожного циклу), дані про кар'єр (тип породи, якість вибуху) та людський фактор (ID оператора). Перевага цього методу в тому, що модель є *динамічною* і оновлює прогноз у реальному часі. Наприклад, якщо ШІ бачить, що у досвідченого оператора на міцній породі раптом зріс час циклу, він миттєво скоригує прогноз і може навіть попередити про можливу поломку.

Для порівняння точності обох підходів було проведено моделювання на реальних даних гранітного кар'єру.

Таблиця 1.

Порівняння точності прогнозування

Параметр	Традиційний метод	ШІ-модель
Підхід	статичний (усереднені норми)	динамічний (реальні дані)
Основні вхідні дані	паспортна ємність ковша, середній час циклу	реальний час циклу, тиск в гідравліці, якість БПР, оператор
Адаптивність	немає. Прогноз однаковий для будь-яких умов.	висока. Прогноз змінюється кожні 5-10 хвилин.
Середня похибка	30-40%	< 5%
Коефіцієнт R^2 (точність)	~ 0.3 (дуже низька)	~ 0.93 (дуже висока)

Наочно різницю в точності показує графік (Рис. 1), де прогнози обох методів накладені на реальні дані видобутку.

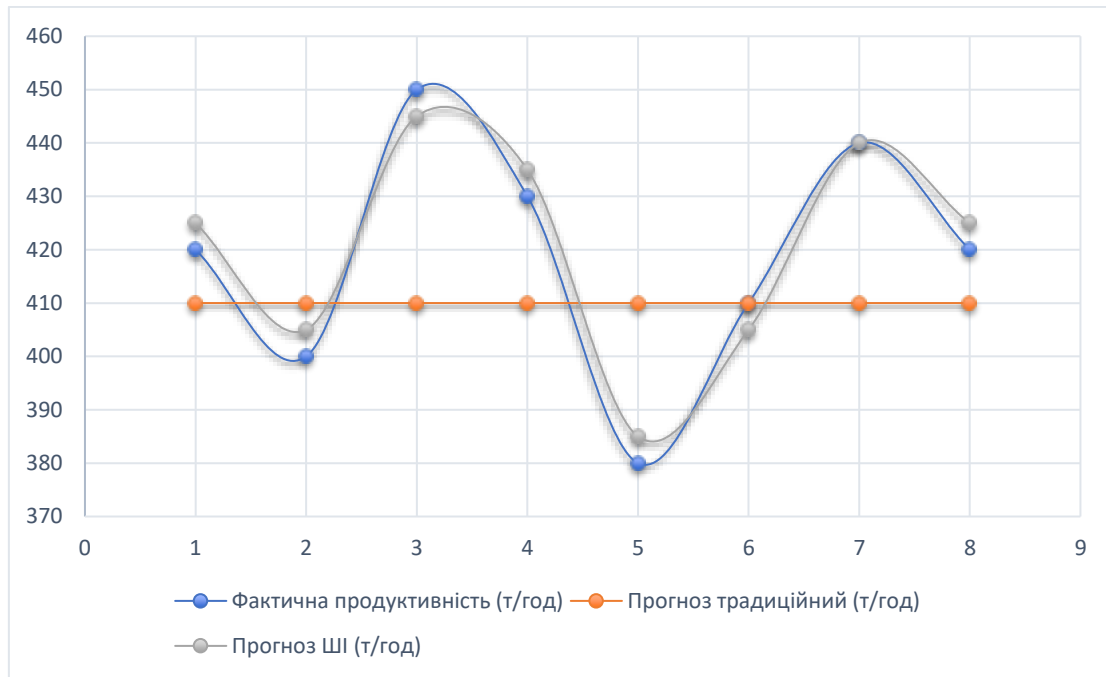


Рис. 1. Порівняння фактичної продуктивності (синя лінія) з прогнозом традиційним методом (сіра пунктирна лінія) та прогнозом ШІ (зелена пунктирна лінія)

Як видно з діаграми, традиційний метод дає лише загальну усереднену лінію, тоді як прогноз ШІ майже ідеально повторює реальні коливання продуктивності.

Впровадження ШІ-моделі дає конкретні переваги. По-перше, це точне планування: диспетчер бачить реалістичний прогноз видобутку на зміну і точно знає, скільки потрібно самоскидів. По-друге, оптимізація витрат на БПР: модель може прорахувати: "Якщо ми витратимо на 10% більше на вибухівку (і отримаємо дрібнішу фракцію), продуктивність екскаватора зросте на 20%". Це дозволяє знайти економічний баланс. По-третє, прогнозування поломок: якщо ШІ бачить, що продуктивність впала, хоча всі умови (порода, оператор) хороші, – це сигнал для механіка перевірити машину (наприклад, зношеність ковша).

Як висновки потрібно зазначити, що традиційні нормативні методи прогнозування продуктивності є статичними та неточними (похибка 30-40%) для оперативного управління, оскільки вони не враховують реальні гірничо-геологічні та технічні фактори. Застосування ШІ (нейронних мереж) дозволяє створити динамічну модель, що аналізує дані з сенсорів та геології в реальному часі і забезпечує високу точність прогнозу (похибка < 5%). Впровадження ШІ-прогнозування дозволяє оптимізувати суміжні процеси (буропідривні роботи, роботу транспорту), знизити час простоїв та зменшити собівартість видобутку.