

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ УНІФІКАЦІЇ ТА ПОПЕРЕДНЬОЇ ОБРОБКИ
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ІНТЕГРАЦІЇ В
ІІІ-МОДЕЛІ КОМПЕНСАЦІЇ ЕКСЦЕНТРИСИТЕТУ ВАЛКІВ**

Потап М.О.¹ [ORCID], Гнатушенко Вік.В.² [ORCID], Селівьорстова Т.В.³ [ORCID]

¹Український державний університет науки і технологій, аспірант, Україна

²Український державний університет науки і технологій,

д.т.н., професор, Україна

³Український державний університет науки і технологій, к.т.н., доцент, Україна

Анотація. У роботі розглянуто питання уніфікації та попередньої обробки експериментальних даних для їх ефективного використання в ІІІ-моделях компенсації ексцентриситету валків у процесах листової прокатки. Обґрунтовано, що якість функціонування інтелектуальних моделей значною мірою залежить від узгодженості, повноти та інформативності вхідних даних. Проаналізовано підходи до синхронізації часових рядів, очищення даних, фільтрації шумів, нормалізації та формування ознак. Показано, що застосування процедур уніфікації та попередньої обробки сприяє підвищенню якості інтеграції даних у ІІІ-моделі та створює передумови для більш точної компенсації ексцентриситету валків.

Ключові слова: експериментальні дані, уніфікація даних, попередня обробка даних, штучний інтелект, ексцентриситет валків, листова прокатка, адаптивне керування, часові ряди, інженерія ознак.

Вступ. У сучасних системах автоматизованого керування процесами листової прокатки одним із чинників, що істотно впливає на точність регулювання товщини смуги, є ексцентриситет валків. Його наявність спричиняє періодичні збурення в сигналах зусилля прокатки, товщини та інших технологічних параметрів, що ускладнює роботу систем автоматичного регулювання [1], [2]. У зв'язку з цим актуальним є використання методів штучного інтелекту для виявлення закономірностей у технологічних сигналах та формування компенсаційних дій. Водночас ефективність таких моделей значною мірою визначається якістю підготовки експериментальних даних, що подаються на вхід ІІІ-систем [4], [5].

Постановка проблеми. Експериментальні дані, що застосовуються для побудови ШІ-моделей компенсації ексцентриситету валків, зазвичай формуються з кількох джерел: датчиків товщини, сили прокатки, швидкості обертання валків, вібраційних сигналів, технологічних журналів та інших вимірювальних каналів. Такі дані є неоднорідними за форматом, частотою дискретизації, одиницями вимірювання, часовими мітками, повнотою та рівнем шуму [4], [5]. За відсутності уніфікованого підходу до їх підготовки знижується якість інтеграції даних у ШІ-модель, що, у свою чергу, погіршує точність компенсації ексцентриситету. Отже, виникає необхідність дослідження методів уніфікації та попередньої обробки експериментальних даних для підвищення ефективності інтелектуальних систем керування.

Огляд літератури. У науковій літературі питання компенсації ексцентриситету валків розглядається в межах кількох підходів. У роботі W. J. Edwards, P. J. Thomas, G. C. Goodwin ексцентриситет валків описується як періодичне збурення, що потребує окремого виявлення та компенсації в системі керування прокатним станом [1]. У дослідженні Z.-M. Chen та співавторів для компенсації ексцентриситету запропоновано використовувати anti-aliasing wavelet analysis, що дозволяє виділяти корисну періодичну компоненту із зашумлених сигналів [2]. У роботі W. I. Nameed та K. A. Mohamad розглянуто застосування fuzzy neural network для компенсації ексцентриситету в задачі керування товщиною смуги [3].

Окремий напрям становлять дослідження, присвячені попередній обробці часових рядів і забезпеченню якості даних для промислових ШІ-систем. У сучасних оглядах підкреслюється важливість очищення даних, синхронізації часових рядів, обробки пропусків, виявлення аномалій, нормалізації та уніфікації форматів даних як необхідної умови побудови ефективних моделей машинного навчання [4], [5]. Таким чином, саме поєднання методів компенсації ексцентриситету з якісною підготовкою даних є перспективним напрямом досліджень.

Дослідження. У роботі дослідження зосереджено на методах підготовки експериментальних даних перед їх використанням у ШІ-моделі компенсації

ексцентриситету валків. Запропоновано розглядати процес підготовки даних як послідовність взаємопов'язаних етапів [4], [5]:

- 1) уніфікація даних – приведення даних із різних джерел до єдиної структури, однакових назв параметрів, узгоджених одиниць вимірювання та спільної часової шкали;
- 2) синхронізація часових рядів – узгодження сигналів, отриманих із різною частотою дискретизації;
- 3) очищення даних – виявлення та усунення пропусків, викидів, дублювань і помилкових записів;
- 4) фільтрація та згладжування – зменшення впливу шуму без втрати інформативної періодичної складової;
- 5) нормалізація та стандартизація – приведення ознак до масштабу, придатного для алгоритмів машинного навчання;
- 6) формування ознак – побудова похідних характеристик, зокрема амплітудних, частотних, фазових і статистичних;
- 7) оцінювання якості набору даних – перевірка повноти, узгодженості, репрезентативності та інформативності.

Аналіз та результати. Проведений аналіз показав, що для задачі компенсації ексцентриситету валків недостатньо використовувати лише первинні технологічні сигнали. Оскільки ексцентриситет має виражену періодичну природу, інформативними є ознаки, що відображають гармонічні, фазові та частотні характеристики сигналів [1], [2]. Методи хвильового аналізу та нейромережевої обробки дозволяють виділяти характерні компоненти ексцентриситету навіть за наявності шумів і змін технологічного режиму [2], [3].

Узагальнення літературних джерел дає підстави стверджувати, що підвищення якості інтеграції даних у ШІ-модель досягається за умови уніфікації часових і параметричних представлень сигналів, зменшення впливу шумів та аномалій, формування інформативного простору ознак і узгодження структури даних із вимогами конкретної моделі машинного навчання [4], [5]. Отже, ключовим чинником успішного застосування ШІ в задачі компенсації ексцентриситету валків є data-centric підхід, у якому якість підготовки даних розглядається як окремий об'єкт дослідження.

Висновки. У роботі обґрунтовано доцільність дослідження методів уніфікації та попередньої обробки експериментальних даних для задачі компенсації ексцентриситету валків у III-моделях. Встановлено, що ефективність інтелектуальної компенсації визначається не лише вибором алгоритму, а й ступенем узгодженості, очищення та інформативності вхідного набору даних [4], [5]. Аналіз літератури показав, що найбільш значущими для цієї задачі є процедури синхронізації часових рядів, шумозаглушення, виявлення аномалій, нормалізації та формування спектрально-орієнтованих ознак [2], [4]. Отже, попередня підготовка експериментальних даних є критично важливим етапом побудови III-моделей компенсації ексцентриситету валків.

Перспективи подальших досліджень. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розроблення формалізованої методики оцінювання якості підготовки наборів даних для III-моделей компенсації ексцентриситету валків, а також на порівняння ефективності різних схем попередньої обробки для нейромережових та гібридних моделей [3]–[5]. Перспективним є також дослідження поєднання процедур попередньої обробки часових рядів із адаптивними алгоритмами компенсації в реальному часі.

ЛІТЕРАТУРА / REFERENCE

1. Edwards W. J., Thomas P. J., Goodwin G. C. Roll Eccentricity Control for Strip Rolling Mills // IFAC Proceedings Volumes. 1987. Vol. 20, Issue 5. P. 187–198. DOI: 10.1016/S1474-6670(17)55438-5.
2. Chen Z.-M., Luo F., Xu Y.-G., Yu W. Roll Eccentricity Compensation Based on Anti-Aliasing Wavelet Analysis Method // Journal of Iron and Steel Research International. 2009. Vol. 16. P. 35–39. DOI: 10.1016/S1006-706X(09)60024-8.
3. Hameed W. I., Mohamad K. A. Strip Thickness Control of Cold Rolling Mill with Roll Eccentricity Compensation by Using Fuzzy Neural Network // Engineering. 2014. Vol. 6. P. 27–33. DOI: 10.4236/eng.2014.61005.
4. Tawakuli A., Havers B., Gulisano V., Kaiser D., Engel T. Survey: Time-Series Data Preprocessing: A Survey and an Empirical Analysis // Journal of Engineering Research. 2025. Vol. 13, No. 2. P. 674–711. DOI: 10.1016/j.jer.2024.02.018.
5. Li X., Cheng Y., Møller C., Lee J. Data Issues in Industrial AI Systems: A Meta-Review and Research Strategy // Computers in Industry. 2025. Vol. 173. Article 104361. DOI: 10.1016/j.compind.2025.104361.

**RESEARCH ON METHODS OF UNIFICATION AND PREPROCESSING OF
EXPERIMENTAL DATA TO IMPROVE THE QUALITY OF INTEGRATION INTO
AI MODELS FOR ROLL ECCENTRICITY COMPENSATION**

Mykhailo Potap, Viktoriia Hnatushenko, Tetiana Selivorstova

Abstract. *The paper addresses the issues of unification and preprocessing of experimental data for their effective use in AI models for roll eccentricity compensation in sheet rolling processes. It is substantiated that the performance quality of intelligent models largely depends on the consistency, completeness, and informativeness of the input data. Approaches to time-series synchronization, data cleaning, noise filtering, normalization, and feature engineering are analyzed. It is shown that the application of data unification and preprocessing procedures improves the quality of data integration into AI models and creates prerequisites for more accurate roll eccentricity compensation.*

Keywords: *experimental data, data unification, data preprocessing, artificial intelligence, roll eccentricity, sheet rolling, adaptive control, time series, feature engineering.*