

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»
д.т.н., професору Валерію КОРНІЄНКО

ВІДГУК

офіційного рецензента

кандидата технічних наук, доцента

Герасіної Олександри Володимирівни

на дисертаційну роботу

Сіданченко Владислава Вадимовича

«Автоматизований метод оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на
випуску доменної печі»,

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю

151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології,
галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування

Актуальність роботи.

Доменне виробництво посідає важливе місце в структурі споживання ресурсів металургійних переділів, тому актуальним є проведення досліджень з метою зниження витрат на виробництво чавуну шляхом удосконалення методів, засобів та моделей створення автоматизованих систем контролю та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі.

Оцінка та прогноз хімічного складу чавуну на випуску доменної печі передбачають реалізацію процесу обробки даних часових рядів, що мають певну стохастичність. Дотепер вважалось, що зазначені часові ряди мають гауссівські властивості. У цій дисертаційній роботі було висунуто гіпотезу про фрактальні властивості часових рядів даних про хімічний склад чавуну на випуску доменної печі, і на цій основі будується вся подальша процедура обробки даних з метою їх оцінки та прогнозу.

Отже, розробка нових методів оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску, адекватних характеру досліджуваних процесів, які дозволяють підвищити точність і достовірність контролю та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі є актуальною.

Дисертаційна робота є складовою частиною досліджень, проведених в Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» відповідно до Закону України № 2623-14 від 11.07.2001р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки та техніки» (зі змінами, внесеними відповідно до Закону № 2859-IX від 05.02.2023 р.), ухвалою Кабінету Міністрів України від 03.03.2021 р. №179 «Національна економічна стратегія на період до 2030

року», постановою Кабінету Міністрів України від 05.08.2020р. №695 «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки», а також за держбюджетною НДР «Дослідження методів підвищення ефективності автоматизованого керування тепловою роботою агрегатів великої потужності промислового та побутового призначення» (№ держреєстрації 0122U002601 від 19.05.2022 р.).

Наукові результати та їх новизна.

Вирішення поставлених завдань дисертаційної роботи виконано на основі нових наукових положень, які полягають у наступному:

1. Вперше обґрунтовано гіпотезу про фрактальні властивості часових рядів даних про хімічний склад чавуну на випуску доменної печі, що дозволило розробити принципово новий підхід у дослідженні часових рядів даних про хімічний аналіз чавуну, заснований на методах нелінійної динаміки, і зумовило можливість створення моделей процесів, що протікають у системі, адекватних їх стохастичним властивостям, і таким чином підвищити точність і достовірність автоматизованого контролю та прогнозу хімічного складу чавуну.

2. Вперше встановлено, що еволюція часового ряду даних про хімічний склад чавуну може бути описана з позиції детермінованого хаосу. На підтвердження цього твердження було реконструйовано дивний атрактор, побудовано його фазовий портрет, визначено кількісні характеристики (кореляційний інтеграл, кореляційна розмірність, розмірність простору вкладення та власне розмірність атрактора) та виділено квазіцикли. Результат аналізу квазіциклів показав, що їхні ланки мають напромак обертання за годинниковою стрілкою, що, як відомо, свідчить про малий ризик помилкового автоматизованого контролю та прогнозу.

3. Вперше на основі статистичного методу RS-аналізу було виявлено ефект самоорганізації та довготривалої пам'яті часових рядів даних про хімічний склад чавуну на випуску доменної печі. Отримані в роботі значення фрактальної і кореляційної розмірностей дозволяють стверджувати, що часові ряди, що вивчаються, характеризуються наявністю внутрішнього порядку, який в даний час визначається як фрактальний, а часова еволюція системи, що вивчається, являє собою стійкий динамічний стан, іменованій дивним атрактором.

4. Вперше розроблено модифікований субоптимальний метод адаптивної фільтрації-прогнозу калманівського типу, інваріантний до властивостей оброблюваного процесу, що дозволяє підвищити достовірність і точність автоматизованого контролю та прогнозу нестационарних часових рядів даних про хімічний склад чавуну при неможливості отримання їх аналітичної моделі, та виявляти аномалії процесу доменної плавки.

Практичне значення та практична цінність отриманих результатів.

Практична цінність дисертаційної роботи для розвитку автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій полягає у розробці узагальненої

структури системи управління доменним процесом, що враховує фрактальні властивості об'єкта управління та розробці засобів для реалізації запропонованої системи управління:

- розроблено методику, алгоритм та програмне забезпечення субоптимальної адаптивної фільтрації та автоматизованого прогнозу хімічного складу чавуну, які можуть застосовуватись для оцінки та прогнозу нестационарних негаусових стохастичних процесів та виявляти аномалії процесу доменної плавки.

Практична значимість отриманих результатів визначається також використанням окремих положень і результатів дисертаційних досліджень у наукових дослідженнях ТОВ «Новел Продакст Енд Солюшинс» та у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при підготовці магістрів спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Всі результати впровадження підтверджені відповідними документами, які представлені у додатках.

Оцінка змісту, ступеню завершеності та обґрунтованості положень дисертації.

Повний обсяг дисертаційної роботи складає 163 сторінки, з яких 137 сторінок – основний текст. Список використаних джерел містить 100 найменувань.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі досліджень, викладено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, наведено дані про публікації та апробацію матеріалів дисертації, результати впровадження.

У **першому** розділі дисертаційного дослідження виконано ґрунтовний аналіз методів контролю та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі. В результаті аналізу «класичних» та математичних методів обробки стохастичних процесів із гаусівським розподілом, автором встановлено, що вони не дозволяють з високою точністю та достовірністю передбачати їх поведінку, оптимізувати процеси та забезпечувати високу якість продукції, що випускається, оскільки не є адекватними стохастичним властивостям реальних процесів. В результаті аналізу методів та моделей нелінійної динаміки та детермінованого хаосу, здобувачем справедливо зазначено про відсутність єдиної обґрунтованої думки стосовно характеру розподілу даних про хімічний склад чавуну на випуску. Висунуто гіпотезу про фрактальні властивості часових рядів даних про хімічний склад чавуну.

Спираючись на результати проведеного аналізу вибрано мету роботи та сформульовані задачі дисертаційного дослідження.

У **другому** розділі автором обґрунтовано гіпотезу про фрактальний характер реальних даних (часових рядів) про хімічний склад чавуну. Здобувач виконав дослідження стохастичних властивостей реальних даних про хімічний склад чавуну на випуску доменної печі, результати яких підтвердили висунуту гіпотезу:

- було встановлено, що автокореляційна функція має повільно спадаючий характер, а в «хвості» відсутня тенденція прагнення до нуля;
- було розраховано значення показника Херста, яке склало 0,6189, що також підтверджує самоподібний характер процесів;
- було реконструйовано дивний атрактор динамічної системи, на фазовому портреті якого чітко видно область тяжіння, що є щільним «ядром».

Автором було проведено фазовий біфуркаційний аналіз, в результаті якого були виявлені зони біфуркації, а також фазові переходи між різними станами системи, що може вказувати на зміни робочої сировини або технології виробництва.

Третій розділ присвячений автоматизованій оцінці та прогнозу даних про хімічний склад чавуну на випуску доменної печі.

Автором було розроблено модифікований фільтр Калмана, працюючий у реальному масштабі часу. Цей алгоритм являє собою субоптимальний процес фільтрації та прогнозу, який ґрунтується на попередніх оцінках та параметрах із урахуванням апроксимації часового ряду в кожній точці відліку рядом Тейлора. При цьому для уникнення розбіжності фільтра, яка обумовлена кінцевим значенням порядку апроксимуючого полінома, здобувачем запропоновано таку процедуру обчислення статистики, яка дозволяє виявити та ліквідувати наслідки процесу розбіжності.

Здобувачем запропоновано узагальнену структуру системи управління доменною плавкою із урахуванням застосування запропонованого алгоритму калманівської фільтрації, що дозволяє покращити якість продукції за рахунок підвищення точності та достовірності даних автоматизованого контролю та прогнозу.

Оцінка ефективності запропонованого методу оцінки та прогнозу проводилась на експериментальних даних про відсотковий вміст основних хімічних елементів чавуну на випуску доменної печі (сірки, кремнію, фосфору і марганцю). В результаті виконаних досліджень автором визначено, що точність прогнозу із використанням запропонованих рішень значно перевищує відомі результати.

У **додатках** наведено програмне забезпечення розробленого алгоритму оцінки та прогнозу відсоткового вмісту хімічного складу чавуну, а також результати його роботи з різними експериментальними даними. Представлені акти впровадження та використання результатів дисертаційного дослідження.

Загальні висновки по роботі коректні і містять основні наукові результати отримані в дисертації здобувачем.

Все вищезазначене дозволяє зробити висновок про достовірність та обґрунтованість результатів дисертації Сіданченко Владислава Вадимовича.

Повнота викладення результатів дисертації у наукових виданнях.

Ознайомлення з дисертаційною роботою та науковими працями дозволяє зробити висновок про дотримання здобувачем вимог щодо повноти викладення результатів дисертації у наукових виданнях.

Основні результати досліджень викладено в 11 публікаціях. Серед них: 6 статей у фахових наукових виданнях (у тому числі 1 стаття в журналі, включеному до наукометричної бази Scopus) і 5 тез доповідей на Всеукраїнських і Міжнародних конференціях. Наведений перелік публікацій, їх зміст та обсяг у достатній мірі відображають особистий внесок автора і відповідають вимогам, що висуваються до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Оформлення дисертації та дотримання вимог академічної доброчесності.

Дисертаційна робота написана науково правильною мовою із використанням сучасної термінології.

Тема, зміст та отримані наукові результати роботи відповідають спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Аналіз наукових праць, що опубліковані здобувачем, змісту дисертації дозволяє стверджувати, що усі наукові та практичні результати отримані автором особисто. В дисертаційній роботі не виявлено текстових запозичень та використання наукових результатів науковців без посилань на відповідні джерела.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. В роботі не обґрунтовано вибір архітектури і параметрів (кількості нейронів прихованого шару та алгоритму навчання) нейронної мережі, яка використовується для прогнозування вмісту кремнію у чавуні (розділ 3.3).

2. Роботу можна було б покращити, використавши різні методи визначення показника Херста (метод періодограм, метод агрегованої дисперсії тощо), а не тільки R/S-аналіз.

3. При моделюванні та статистичній обробці експериментальних даних недостатню увагу приділено визначенню адекватності моделей та значущості отриманих результатів.

4. В роботі мають місце деякі граматичні та стилістичні помилки; шрифт підписів на деяких рисунках замалий (наприклад, рис. 2.1, 2.2, 3.4); відсутні розшифрування деяких позначень, що входять до формул (наприклад, у формулах (1.15)-(1.16)).

5. У списку використаних джерел деяка література оформлена не згідно чинних вимог; відсутні посилання на деякі джерела (п. 75, 83, 100).

Вказані зауваження не знижують загального позитивного враження від дисертації, як з точки зору актуальності теми, так і з точки зору наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів.

Висновок про відповідність дисертації вимогам, які пред'являються до наукового ступеня доктора філософії.

Дисертаційна робота Сіданченко Владислава Вадимовича «Автоматизований метод оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі» є завершеною науково-дослідницькою роботою, яка

містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертації вирішено актуальну науково-прикладну задачу створення та дослідження методу автоматизованої оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі, що забезпечує збільшення точності та достовірності прогнозу даних, підвищення ефективності управління доменною плавкою і, таким чином, дозволяє забезпечити задану якість продукції при зменшенні матеріальних та фінансових витрат на її виробництво.

Тема і зміст дисертаційної роботи відповідають спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, а отримані наукові та практичні результати є значущими для галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування.

Зважаючи на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових результатів, висновків та рекомендацій, їх наукову новизну та практичну цінність, повноту викладення матеріалу у наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація Сіданченко Владислава Вадимовича відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 та вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», а її автор, Сіданченко Владислав Вадимович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Офіційний рецензент,
кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри безпеки інформації
та телекомунікацій Національного
технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Олександра ГЕРАСІНА