

ВІДГУК

рецензента, доктора технічних наук, завідувача кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Алексєєва Михайла Олександровича на дисертацію Сіданченко Владислава Вадимовича на тему «Автоматизований метод оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі», яка подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Відгук рецензента, який викладено нижче, є результатом критичного аналізу змісту дисертації, наукових публікацій здобувача за темою дисертації, а також актів упровадження й використання результатів дисертаційної роботи.

Актуальність роботи.

Найточніша відповідність хімічного складу чавуну заданим параметрам є фундаментальною умовою для досягнення необхідних якісних характеристик кінцевої продукції. Автоматизований контроль дозволяє оперативно реагувати на зміни у виробничих умовах та підтримувати стабільність хімічного складу. А це, своєю чергою, знижує кількість виробничого браку, покращує якість продукції, підвищує економічні показники виробництва.

Оцінка та прогноз хімічного складу чавуну на випуску передбачають реалізацію процесу обробки даних часових рядів, що мають певні стохастичну характеристику. До теперішнього часу вважалося, що зазначені часові ряди мають гаусівські властивості, і на цій основі будувалася вся подальша процедура обробки даних з метою їх оцінки та прогнозу.

У цій роботі була висунута гіпотеза про те, що часові ряди, даних про хімічний аналіз чавуну на випуску, не мають гаусівських властивостей і, отже, інструментарій, що застосовується до них, заснований на гаусівському характері процесу, не може забезпечити максимальну точність і достовірність результатів.

З метою перевірки та обґрунтування гіпотези у роботі було проведено дослідження, засноване на методах нелінійної динаміки, детермінованого хаосу, фрактальних властивостях процесів.

В результаті проведених досліджень було виявлено та показано, що досліджувані часові ряди мають властивість самоподібності, характерну для фрактальних процесів, тому подальші дослідження проводилися методами нелінійної динаміки.

Отже, науково-прикладна задача, яка була сформульована і вирішена в дисертації Сіданченко В.В., та полягає у розробці та дослідженні автоматизованого методу оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі, що дозволяє підвищити точність та достовірність даних автоматизованого контролю та прогнозу, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Основою цієї роботи є матеріали, що узагальнюють дослідження автора, виконані в рамках реалізації науково-дослідних робіт, що проводяться у НТУ «Дніпровська політехніка» відповідно до Закону України № 2623-14 від 11.07.2001 р. «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 05.08.2020 р. № 695 «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки». Робота виконана в рамках НДР «Дослідження методів підвищення ефективності автоматизованого керування тепловою роботою агрегатів великої потужності промислового та побутового призначення» (№ держреєстрації 0122U002601 від 19.05.2022 р.).

Наукова новизна одержаних результатів.

На підставі всебічного аналізу змісту дисертаційної роботи Сіданченко В.В. та його наукових публікацій за темою роботи встановлено, що здобувачем досягнуто основну мету та вирішено поставлену науково-прикладну задачу щодо розробки та дослідженню автоматизованого методу

оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі. Наукова новизна дисертації полягає в:

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 напрямок 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, іменований 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.

Вважаю, що всі положення наукової новизни відповідають змісту роботи та є повністю обґрунтованими і доведеними в результаті проведеного дисертаційного дослідження.

Практична цінність та впровадження отриманих результатів.

Основу практичної цінності результатів дисертаційного дослідження Сіданченко В.В. становлять запропонований автоматизований метод оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі, а також моделі, алгоритми та програми, що його реалізують, що застосовуються під час проєктування нових або модернізації існуючих засобів автоматизації доменних печей. Отримані результати дисертаційного дослідження використано та впроваджено у навчальному процесі Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» при підготовці магістрів спеціальності 174 “Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка” (акт впровадження від 16.04.2024 р.). Результати дисертації використовуються при наукових дослідженнях ТОВ "Новел Проджектс Енд Солюшинс" (довідка про впровадження результатів дисертації № 11-Д від 11.04.2024 р.). Матеріали дисертаційної роботи використані у дослідженнях, проведених у держбюджетній НДР «Дослідження методів підвищення ефективності автоматизованого керування тепловою роботою агрегатів великої потужності промислового та побутового призначення» (№ держреєстрації 0122U002601 від 19.05.2022 р.).

Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовано та висвітлено в дисертації.

Всі отримані та сформульовані положення наукової новизни та практичної цінності, а також висновки й рекомендації дисертації відповідають вимогам до наукових робіт. Це забезпечено наступним:

– всебічний інформаційний аналіз і логічне узагальнення відомих науково-прикладних результатів у досліджуваній предметній галузі як на світовому, так і на вітчизняному рівні;

– обґрунтованість науково-прикладної задачі, основної мети, а також об'єкту й предмету досліджень;

– застосування загальноновизнаних і сучасних методів досліджень, а саме: математичне, інформаційне та комп'ютерне моделювання;

– коректність аналітичних і теоретичних припущень;

– збіжність результатів розрахунків та комп'ютерного експерименту;

– лаконічність і змістовність висновків як за окремими розділами, так і загальних по роботі;

– значна кількість апробаційних матеріалів.

Все це дозволяє стверджувати про достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації Сіданченко В.В.

Аналіз змісту, структури та обсягу роботи.

Загальний обсяг роботи становить 153 сторінки, з яких основний текст викладено на 132 сторінках машинописного тексту.

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету, об'єкт, предмет і основні завдання досліджень, обґрунтовано методи досліджень, викладено наукову новизну й практичну значимість одержаних результатів, зазначено особистий внесок здобувача, представлено загальну характеристику та структуру дисертації, а також наведено відомості щодо публікацій і результатів апробації й впровадження дисертаційної роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано інформаційний аналіз актуального стану проблеми автоматизованого контролю та прогнозу хімічного складу чавуну. Розглянуто «класичні» методи та моделі обробки стохастичних процесів із гаусівським розподілом. Розглянуто методи та моделі нелінійної динаміки та детермінованого хаосу. Висунуто гіпотезу про те, що існуючі методи оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну, що базуються на

гаусівському характері стохастичних часових рядів, які подають дані про хімічний склад, неадекватні реальному закону розподілу. Сформульована постановка задачі дослідження.

У другому розділі виконано дослідження стохастичних властивостей даних (часових рядів) про хімічний склад чавуну. Доведено негаусовість даних часових рядів та обґрунтовано гіпотезу про їх фрактальний характер.

Подальші дослідження фрактальних властивостей часових рядів однозначно підтвердили висунуту гіпотезу. Було встановлено, що автокореляційна функція має так званий «важкий хвіст», тобто не прагне нуля при прагненні часу спостереження до нескінченності.

Обчислений за допомогою RS-аналізу показник Херста становив величину порядку 0,6189, що свідчить про самоподібну властивість фрактального процесу.

Аналіз часових рядів методами нелінійної динаміки та детермінованого хаосу дозволив отримати принципово нову інформацію (аналіз літературних джерел не дозволив автору отримати інформацію про аналогічні дослідження у зв'язку з їх відсутністю) про властивості та характеристики досліджуваних часових рядів.

В результаті досліджень було реконструйовано дивний атрактор, отримано фазовий портрет динамічної системи.

Фазовий біфуркаційний аналіз дозволив визначити фазові переходи системи та класифікувати їх як зміни у технології ведення процесу або як зміни якості сировинних матеріалів доменної плавки.

У третьому розділі розроблено метод оцінки та прогнозу даних про хімічний склад чавуну, виявлення аномалій процесу доменної плавки, запропоновано узагальнену структуру системи управління доменною плавкою.

Як базовий метод оцінки та прогнозу був використаний алгоритм калманівської фільтрації. Цей алгоритм був модифікований для випадку невідомої аналітичної моделі процесу. Модифікація полягає в апроксимації

часового ряду в кожній точці відліку рядом Тейлора. Розбіжність оцінки через кінцевий порядок апроксимуючого полінома усувалася за допомогою оригінальної процедури підрахунку статистики, що дозволяє виявити процес розбіжності та ліквідувати його наслідки.

У третьому розділі наведено результати прогнозу реальних даних про відсотковий вміст хімічного складу чавуну для таких хімічних елементів, як Si, S, P, Mn. Порівняльний аналіз із результатами інших авторів показав, що точність прогнозу запропонованим методом у кілька разів перевищує відомі результати. Оскільки запропонований метод обробки є інваріантним до характеру процесів, що протікають, інші компоненти хімічного аналізу можуть бути визначені аналогічним чином.

У загальних висновках наведено основні кількісні та якісні результати дисертаційного дослідження.

У додатках наведено список публікацій здобувача за темою дисертації, акти впровадження та використання результатів дисертаційного дослідження, а також програмне забезпечення розробленого алгоритму оцінки та прогнозу відсоткового вмісту хімічного складу чавуну.

У результаті аналізу змістовного наповнення дисертаційної роботи Сіданченко В.В. встановлено, що вона повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» для третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти та ОНП спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Як результат перевірки дисертації встановлено, що дисертаційна робота Сіданченко В.В. є результатом оригінальних і самостійних досліджень, вона не містить елементів фальсифікації, фабрикації та текстових запозичень без посилань на відповідні джерела.

Таким чином, можна констатувати факт того, що дисертація Сіданченко В.В. є завершеним, оригінальним, змістовним, логічним і

структурованим науково-прикладним дослідженням, що дозволило йому в повному обсязі розкрити тему дослідження та досягти поставлену мету.

Мова та стиль викладання результатів.

Дисертація Сіданченко В.В. написана українською мовою. Стиль викладення матеріалів досліджень є лаконічним, структурованим, чітким і логічним.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих наукових працях.

За темою дисертаційного дослідження здобувач Сіданченко В.В. опублікував 11 наукових праць, серед яких 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії Б; 3 статті опубліковано на тему дисертації (1 стаття в періодичному виданні, що включене до наукометричної бази Scopus, 2 одноосібних статті у наукових фахових виданнях України категорії Б); 5 тез доповідей на Всеукраїнських і Міжнародних конференціях (у тому числі, 2 у наукометричній базі Scopus).

Кількість і тип друкованих праць відповідає актуальним вимогам Міністерства освіти і науки України щодо публікацій основного змісту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії. Змістовна наповненість та тематика опублікованих наукових праць дозволяє стверджувати, що наукові результати, які виносяться на захист, було повністю охоплено і висвітлено в публікаціях.

Зауваження та дискусійні положення.

1. На мій погляд, у дисертації недостатню увагу приділено питанням розробки рекомендацій, що належать до питань контролю та управління процесом доменної плавки.

2. При аналізі ефективності методу було б доцільним розглянути результати його роботи за відомої моделі сигналу та різного рівня шумів.

3. З метою глибшого аналізу ефективності відомих методів, стосовно реальних даних кількість обраних методів слід було б збільшити.

Зазначені зауваження істотно не впливають на загальний високий науковий рівень дисертаційної роботи та не знижують її науково-практичну цінність.

Висновок.

На підставі детального аналізу дисертації та наукових публікацій здобувача Сіданченко Владислава Вадимовича, а також приймаючи до уваги актуальність теми роботи, положення наукової новизни, практичну значущість, показники обґрунтованості та достовірності одержаних результатів і сформульованих висновків по роботі, вважаю, що його дисертація «Автоматизований метод оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі» є завершеним, самостійним і вагомим дослідженням, що присвячене вирішенню важливої науково-прикладної задачі підвищення достовірності і точності автоматизованої оцінки та прогнозу нестационарних часових рядів даних про хімічний склад чавуну, при неможливості отримання їх аналітичної моделі.

Зазначаю, що дисертація Сіданченко Владислава Вадимовича відповідає вимогам пунктів 5–8 Постанови Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р. «Про затвердження порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», а також Наказу Міністерства освіти та науки від 12.07.2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Таким чином, вважаю, що Сіданченко Владислав Вадимович, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії (Ph.D.) за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.

Рецензент, завідувач кафедри
програмного забезпечення комп'ютерних
систем НТУ «Дніпровська політехніка»,
доктор технічних наук, професор

Михайло АЛЕКСЄВ