

ВІДГУК

офіційного опонента, кандидата технічних наук, старшого наукового співробітника, завідувача відділу технологічного обладнання та систем управління Інституту чорної металургії ім. З.І. Некрасова НАН України Семенова Юрія Станіславовича на дисертацію Сіданченка 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».

Актуальність роботи.

Металургія є і, з огляду на відновлення підприємств галузі після деокупації тимчасово окупованих територій України, продовжить залишатися однією з базових галузей економіки, яка і в подальшому забезпечуватиме значні валютні надходження в Україну. На сьогоднішній день доменні печі є основним виробником чавуну в Україні і в світі, оскільки доменне виробництво є найбільш економічно вигідним способом виробництва чавуну, оскільки перехід на позадоменне виробництво з прямим відновленням оксидів заліза з використанням водню, в умовах вже післявоєнного періоду в Україні, потребуватиме довгого часу та значних інвестицій.

Доменна піч є складним та багатофакторним об'єктом, якому властиві інерційні та нелінійні характеристики процесу виплавки чавуну. Окрім цього прямі вимірювання деяких параметрів, які характеризують протікання процесів в доменній печі залишаються неможливими з причини закритості об'єкту та високих температур, досі є актуальним вислів про те, що доменна піч є своєрідною "чорною скринькою". Отже, актуальною задачею є отримання нових методів оцінки і прогнозування параметрів доменної плавки, що відображене у дисертаційній роботі.

Важливим фактором економічної та конкурентоздатної доменної плавки є отримання чавуну із заданим та стабільним хімічним складом. Забезпечення стабільного хімічного складу чавуну є передумовою роботи із низькою питомою витратою коксу, дефіцит якого, як ніколи раніше, є суттєвою

проблемою доменного виробництва сьогодення в Україні. Тому, актуальною задачею автора дисертаційної роботи є застосування саме прогностичних методів оцінки хімічного складу чавуну для забезпечення стабільності технологічного процесу. Автором роботи проведено дослідження, засноване на методах нелінійної динаміки, детермінованого хаосу, фрактальних властивостях процесів, виявлено та доведено, що досліджувані часові ряди мають риси самоподібності, властиві для фрактальних процесів.

Отже, науково-прикладна задача, яка була сформульована і вирішена в дисертації Сіданченко В.В., є актуальною. Вона полягає в розробці автоматизованого методу оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну, що дозволяє підвищити точність та достовірність даних автоматизованого контролю стандартно прийнятими методами в режимі реального часу.

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

Основою цієї роботи є матеріали, що узагальнюють дослідження автора, виконані в рамках реалізації науково-дослідних робіт 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 № 179 (від 03.03.2021 р.) «Національна економічна стратегія на період до 2030 року», постановою Кабінету Міністрів України № 695 (від 05.08.2020 р.) «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на 2021-2027 роки». Зокрема ця 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 аналізу дисертаційної роботи Сіданченко В.В. встановлено, що здобувачем 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 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 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 виявлення аномалії процесу доменної плавки.

Всі положення наукової новизни відповідають змісту роботи, 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 методики, алгоритми та програмне забезпечення, що реалізують запропонований автоматизований метод оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі. Отримані результати досліджень використано та впроваджено в 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 мають впровадження (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.

Отримані та сформульовані положення наукової новизни та практичної цінності, а також основні висновки дисертації відповідають чинним вимогам до наукових робіт. Зокрема про це свідчить:

- виконаний аналіз і узагальнення відомих науково-прикладних результатів у досліджуваній предметній галузі;
- обґрунтованість науково-прикладної задачі, основної мети, а також об'єкту й предмету досліджень;

- застосування сучасних методів математичного та комп'ютерного моделювання;
- коректність аналітичних і теоретичних припущень;
- збіжність результатів розрахунків та комп'ютерного експерименту;
- сучасність апробаційних матеріалів, які виконані для двох металургійних комбінатів з різними технологічними особливостями виробництва чавуну.

Вказане дозволяє стверджувати про достовірність і обґрунтованість наукових положень і висновків, 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, сформульовано 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 дисертаційної роботи.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз актуального стану проблеми автоматизованого контролю та прогнозу хімічного складу чавуну. Розглянуто відомі 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, які базуються на «гаусівському» характері стохастичних часових рядів і визначають дані про хімічний склад, неадекватні реальному закону розподілу. Сформульована постановка задач дослідження.

У другому розділі виконано дослідження стохастичних властивостей реальних даних про хімічний склад чавуну. Доведено недоцільність застосування традиційних методів, що ґрунтуються на гауссівському

характері стохастичних процесів оскільки вони не враховують наявність хаотичних процесів у досліджуваних часових рядах. Подальші дослідження фрактальних властивостей часових рядів підтвердили висунуту гіпотезу.

Аналіз часових рядів методами нелінійної динаміки та детермінованого хаосу дозволив отримати принципово нову інформацію про властивості та характеристики досліджуваних часових рядів. У 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 та/або зміни якості сировинних матеріалів доменної плавки.

У третьому розділі розроблено метод оцінки та прогнозу даних про хімічний склад чавуну, виявлення аномалій процесу доменної плавки. Показано приклад можливої інтеграції запропонованого методу автоматизованого контролю і прогнозу даних про хімічний склад чавуну до структури системи управління доменною піччю. Також у третьому розділі наведено результати прогнозу даних про відсотковий вміст хімічного складу чавуну для хімічних елементів: Si, S, P, Mn для умов двох металургійних комбінатів: «ММКІ» 2011 р. та «Камет-сталь» 2024 р. Порівняльний аналіз із результатами інших авторів показав, що точність прогнозу запропонованим методом суттєво перевищує відомі результати.

У загальних висновках наведено основні 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 змісту 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».

На підставі перевірки дисертації на вимоги доброчесності встановлено, що ця робота Сіданченко В.В. є результатом оригінальних і самостійних досліджень, вона не містить текстових запозичень без посилань на відповідні джерела.

Дисертація Сіданченко В.В. є завершеним, змістовним, логічним і структурованим науково-прикладним дослідженням, що дозволило в повному обсязі розкрити тему дослідження та досягти поставленої мети.

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. Зміст опублікованих наукових праць дозволяє стверджувати, що наукові результати, які виносяться на захист, було повністю висвітлено в публікаціях.

Зауваження та дискусійні положення.

1. Підрозділ п.1.1 є загально відомим та містить зайву інформацію, яка не стосується предмету досліджень дисертаційної роботи.

2. Вислів «час кожної плавки» (с. 111) є некоректним, оскільки доменна плавка є процесом безперервним, тобто в цьому контексті правильніше застосовувати термін «час кожного випуску».

3. Для покращення загальної структури роботи було б доцільно отримані результати, наведені у пп.3.5 та 3.6, винести до окремого основного 4-го розділу. Який в свою чергу доповнити деякими положеннями подальшої автоматизації прийняття рішень та управління процесом доменної плавки.

4. Твердження щодо адекватного прогнозування хімічного складу чавуну більше ніж на 1-2 кроки наперед в умовах нестаціонарності (насамперед постійної зміни якості коксу, інших паливних добавок та залізорудної сировини) виглядають дещо дискусійними. Тим паче, що прогнозування на 4 кроки за часом перебільшує таке ключове поняття як «період перебування шихти у печі».

5. Для набуття більшої технологічної цінності роботи бажано було б надати аналіз причин встановлених аномалій, тобто інтерпретувати їх з точки зору сприйняття технологом/оператором та виявити технологічні фактори, які спричинили ці аномалії.

6. В загальних висновках не наводяться найбільш важливі чисельні показники, які отримані в дисертаційній роботі, насамперед, це точність прогнозування з використанням розробленого методу.

7. З огляду на досить значну кількість наукових та прикладних результатів, отриманих автором у роботі, чотири загальних висновки в роботі є, за думкою опонента, недостатнім.

8. У роботі присутні деякі орфографічні неточності та невластиві українській мові терміни.

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

цінність. Ці зауваження переважно показують перспективу подальшого розвитку результатів досліджень автора у майбутньому.

Висновок.

На підставі розгляду дисертації здобувача Сіданченко Владислава Вадимовича, приймаючи до уваги актуальність теми роботи, положення наукової новизни, практичну значущість, показники обґрунтованості та достовірності одержаних результатів, вважаю, що представлена на захист дисертація «Автоматизований метод оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі» є завершеним і самостійним дослідженням, присвяченим вирішенню актуальної науково-прикладної задачі підвищення якості управління процесом виплавки чавуну за рахунок розробки нових методів та інструментів оцінки та прогнозу хімічного складу чавуну на випуску доменної печі.

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».

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

Офіційний опонент,

завідувач відділу технологічного обладнання

та систем управління Інституту чорної

металургії ім. З.І. Некрасова НАН України,

кандидат технічних наук,

старший науковий співробітник



Юрій СЕМЕНОВ