

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу

Маріяша Юрія Ігоровича

на тему **«Модельно-прогнозуюче автоматичне керування режимом дуття кисневого конвертера з енергоефективним засвоєнням тепла»**,  
представлену на здобуття ступеня доктора філософії  
в галузі знань Автоматизація та приладобудування  
за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології  
освітньо-наукова програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
технології

### **Актуальність теми дисертації.**

Виробництво сталі – це складний процес, який потребує застосування комплексу технологічного, енергетичного та транспортного устаткування, кожне з яких вимагає відповідної автоматизації. Для таких об'єктів перспективним є застосування сучасних підходів до синтезу систем керування, які дозволяють враховувати технологічні обмеження процесу, програмну зміну траєкторії та вплив інших контурів. На сьогоднішній день в Україні та у світі актуальною є проблема енергозбереження та зниження вартості виплавленої сталі. Основним недоліком киснево-конвертерного процесу є необхідність надання початкової кількості тепла (у вигляді рідкого чавуну) і як наслідок – обмеження в переробці металевих брухт. Для виготовлення сталі, в кисневий конвертер завантажують металобрухт об'ємом до 30% від металевої частини. Решта – рідкий чавун, який є дорожчим у порівнянні з металобрухтом та потребує доменного виробництва. Тому актуальною проблемою режиму продувки киснево-конвертерного процесу є збільшення частки лому при виплавці конвертерної сталі, а ефективним методом є допалювання CO до CO<sub>2</sub>, так як він не потребує додаткового устаткування, а для досягнення бажаних показників достатньо керувати параметрами дуттьового режиму, такими як положення фурми і витрати кисню.

### **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. вдосконалено математичну модель дуттьового режиму киснево-конвертерної плавки за рахунок врахування впливу інтенсивності дуття на процес знеуглецювання ванни, що дозволило підвищити точність та якість керування дуттям в умовах зміни витрати кисню під час продувки;

2. вперше синтезовано оптимальну систему керування параметрами дуттєвого режиму киснево-конвертерної плавки за принципом зворотного зв'язку на базі модельно-прогнозуючого керування при використанні лінійно-квадратичного функціоналу, яка дозволила одночасно керувати інтенсивністю дуття та положенням фурми при програмній зміні завдання на витрату кисню та вмісту  $\text{CO}_2$ , а також підвищити якість керування та енергозбереження при плавці за рахунок збільшення ступеня допалювання  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$ , що є наслідком збільшення частки металобрухту;
3. подальший розвиток отримало використання замкнених систем керування ступенем допалювання  $\text{CO}$  до  $\text{CO}_2$ , шляхом синтезу модельно-прогнозуючого регулятора з урахуванням технологічних обмежень швидкості переміщення регулюючих органів, що дозволило підвищити якість керування процесом при наявності обмежень. Запропоноване рішення дозволяє підвищити якість керування процесом в умовах технологічних обмежень.

Наукові дослідження були виконані здобувачем на кафедрі автоматизації енергетичних процесів КПІ ім. Ігоря Сікорського в рамках наукової тематики: «Розроблення техніко-технологічних схем та систем керування теплозабезпечення населених пунктів на основі термодинамічних підходів» – державний реєстраційний номер 0120U102168 та «Ексергетичне обґрунтування нестационарних режимів та характеристик комбінованого тепло- та холодозабезпечення енергоефективних будівель на основі теплонасосних систем» – державний реєстраційний номер 0120U001750 під керівництвом доцента кафедри автоматизації енергетичних процесів, к.т.н., доцента Степанця Олександра Васильовича.

Отже, в дисертаційній роботі поставлене наукове завдання синтезу модельно-прогнозуючого контролера виконано повністю, здобувач повною мірою оволодів методологією наукової діяльності.

**Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.**

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Маріяша Ю.І. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та напрямкам досліджень відповідно до освітньої програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідчить про наявність особистого внеску здобувача у науковий напрям «Математичне моделювання та оптимальне керування технологічними процесами».



Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадиння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Маріяша Юрія Ігоровича є результатом самостійних досліджень здобувача і не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень. Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

### **Мова та стиль викладення результатів.**

Дисертаційна робота написана українською мовою. Дисертація складається із вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел (80) та 10 додатків. Повний обсяг дисертації складає 161 сторінку, з них основний зміст роботи викладено на 113 сторінках друкованого тексту.

У вступі міститься матеріал, де обґрунтована актуальність досліджень, їх зв'язок з науковими програмами КПП ім. Ігоря Сікорського, охарактеризована наукова новизна та практичне значення отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто особливості киснево-конвертерного процесу, які потребують впровадження сучасних рішень автоматизованого керування. Проведено огляд та аналіз сучасних методів керування параметрами дуттєвого режиму, побудови автоматизованої системи керування. У кінці розділу обґрунтовано вибір мети та сформульовані основні задачі дисертаційних досліджень.

Другий розділ присвячений дослідженню об'єкта керування. Розглянуто технологічні особливості керування режимом дуття киснево-конвертерного процесу. Досліджено вплив параметрів дуття (інтенсивності продувки та положення фурми) на хід плавки. Побудовано модель в просторі станів режиму продувки киснево-конвертерного процесу та виконано моделювання режиму дуття.

У третьому розділі автор описує ідеологію модельно-прогнозуючого керування, розглядається схема керування та математичний опис підходу. Виконано синтез комбінованої системи автоматичного регулювання параметрами дуття киснево-конвертерного процесу. Наведена структура системи керування, налаштування регуляторів та виконано синтез реально-диференціюючого компенсатора. У 3 пункті розділу виконано синтез модельно-прогнозуючого регулятора з квадратичним функціоналом при наявності обмежень режиму дуття киснево-конвертерної плавки.

У четвертому розділі досліджено систему автоматичного регулювання, проведено імітаційне моделювання комбінованої та модельно-прогнозуючої системи автоматичного регулювання. Виконано порівняння та зроблено висновки стосовно доцільності застосування модельно-прогнозуючого керування.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.**

Наукові результати дисертації висвітлені у 17 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 4 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України (з них 3 відносяться до категорії Б, 1 до категорії А); 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus, з яких 1 стаття у виданні, віднесеному до третього квартилу (Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank. Також результати дисертації були апробовані на 12 наукових фахових конференціях.

У працях, в яких представлені основні наукові результати, обґрунтовано постановку задачі, виконано аналіз літературних джерел, досліджено об'єкт керування та дотримано принципів академічної доброчесності. Використана в роботі наукова термінологія є загальноприйнятою, стиль викладення результатів нових наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання. Особистий внесок здобувача включає створення структури та моделей замкнутих систем керування степенем допалювання CO до CO<sub>2</sub>, аналітичний огляд, практична реалізація регуляторів, моделювання систем автоматичного керування. Загальний обсяг друкованих праць за темою дисертації та повнота викладення в них наукових положень дисертації цілком відповідають вимогам, що висувуються до дисертації на здобуття ступеня доктора філософії.

Таким чином, наукові результати описані в дисертаційній роботі повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

### **Зауваження до дисертаційної роботи.**

1. Відсутнє обґрунтування вибору лінійно-квадратичного функціоналу модельно-прогнозуючого регулятора, його порівняння з іншими варіантами функціоналу.
2. При постановці мети та наукової новизни використанні мовні конструкції, які ускладнюють сприйняття думку автора.
3. У третьому пункті першого розділу «Застосування модельно-прогнозуючого керування» не вказано для якого класу об'єктів рекомендується застосування запропонованого підходу.
4. Формули 3.5, 3.7, 3.16 є системами рівнянь, тому краще виділяти їх фігурною дужкою.



5. Вибір програмного забезпечення автоматизації CoDeSys v3.5 необґрунтоване, бажано наводити порівняння з існуючими аналогами.
6. На рисунках 4.10-15 відсутня легенда керуючої дії, хоча в попередніх пунктах вона вказувалась, що вибивається з загального стилю оформлення дисертації.

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Маріяша Юрія Ігоровича на тему «Модельно-прогнозуюче автоматичне керування режимом дуття кисневого конвертера з енергоефективним засвоєнням тепла» виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань «Автоматизація та приладобудування». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «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.

Здобувач Маріяш Юрій Ігорович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

### **Рецензент:**

доц. каф. АЕП, к.т.н.,  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

М.П.

«13» 02

2023 року

