

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу  
Левченка Олександра Едуардовича

на тему “Автоматизоване керування технологічним процесом хімічного фрезерування з використанням матричних вихрострумів перетворювачів”,

представлену на здобуття ступеня доктора філософії

в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування  
за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології

### **Актуальність теми дисертації.**

Проблема підвищення ефективності технологічних процесів та виробництв, у тому числі технологічного процесу хімічного фрезерування (ТП ХФ), з кожним роком стає все більш актуальною. Це зумовлено темпами розвитку світової економіки, адже ТП ХФ є одним із основних процесів у багатьох галузях промисловості, наприклад, електронній, машинобудівній, приладобудівній тощо. Крім того особливої уваги потребують екологічні аспекти ТП ХФ, адже він передбачає використання токсичних хімічних речовин, які здатні значно шкодити як оточуючому середовищу так і здоров’ю робітників підвищуючи ризик виникнення тяжких захворювань. Саме тому інтеграція новітніх та вдосконалення відомих методів та засобів технологічного забезпечення, у тому числі методів вихрострумового контролю (ВСК) та вихрострумів матриць (ВСМ), у структуру автоматизованих систем керування технологічними процесами, зокрема для автоматизації керування ТП ХФ може призвести до суттєвих економічних, соціальних та екологічних ефектів. Так автоматизація керування температурою травника та контролю товщини виробу забезпечує підвищення швидкості ТП ХФ, його вчасну зупинку при досягненні виробом необхідної товщини, що в сукупності забезпечує отримання високих показників якості готової продукції, зменшує кількість браку, забезпечує підвищення продуктивності виробництва та його конкурентоспроможність, сприяє економії матеріальних ресурсів та енергії, зменшує тривалість ТП ХФ і час контакту робітників із хімічно-небезпечними речовинами.

Саме тому суттєву увагу у дисертації приділено як власне розробці системи автоматичного керування (САК) інтегрованої у автоматизовану систему керування ТП ХФ (АСК ТП ХФ), так і розробці ВСМ, що включаються у зворотній зв'язок розробленої структури САК і використовуються для безконтактної високоточної оцінки регульованої величини, визначення її відхилення від заданого значення і забезпечують перетворення неелектричних параметрів стану об'єкта в електричні сигнали, які використовуються для формування сигналів керування з їх наступною передачею на регулюючий орган.

При цьому серед існуючих засобів, що можуть бути включені у зворотній зв'язок САК, основну увагу автор дисертації приділяє застосуванню

розроблених ВСМ, оскільки вони мають низку таких переваг, як безконтактний контроль товщини деталей, що піддаються ХФ, складних форм та великих розмірів з високою точністю в автоматизованому режимі та режимі реального часу.

Окрім того, у роботі проведено ґрунтовний аналіз сигналів, які формуються у ВСМ під час взаємодії змінного електромагнітного поля з електропровідними об'єктами керування. Це дозволило виявити невикористаний ресурс ВСК для застосування в САК. Крім того автором з'ясовано, що використання дискретного перетворення Гільберта в ВСМ у складі САК ТП ХФ дає змогу отримувати та обробляти значні обсяги інформації про об'єкти керування, синхронно обчислювати амплітудну та фазову характеристики сигналів ВСМ і на цій основі розширити можливості формування керувальних впливів.

Проведене автором дослідження, спрямоване на підвищення ефективності процесу хімічного фрезерування за рахунок включення в АСКТП ХФ засобів вимірювання товщини виробів на основі технології вихрострумowego контролю з перетворювачами матричного типу, має велике значення як для вітчизняної науки і промисловості, так і для світової наукової та практичної спільноти, що займається проблемами хімічного фрезерування.

Саме тому тема дисертаційної роботи Левченка О. Е. "Автоматизоване керування технологічним процесом хімічного фрезерування з використанням матричних вихрострумowych перетворювачів" є актуальною.

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

Наукові положення, висновки та рекомендації у достатній мірі обґрунтовані. Вони базуються на сучасних вітчизняних та зарубіжних наукових джерелах, а також коректно використовують числові методи математичного аналізу, теорії вимірювань, теорії ймовірності та математичної статистики, комп'ютерного моделювання та опрацювання експериментальних даних.

Значна частина інформації подана у математичних викладах, малюнках, схемах, таблицях, які ілюструють та доповнюють наукові положення дисертації.

Достовірність отриманих результатів обчислювальних експериментів підтверджується правильним використанням відповідних математичних моделей, використанням такого сучасного програмного засобу, як Matlab, наведенням параметрів математичних моделей (об'єктів), порівнянням отриманих результатів із відомими експериментальними даними та лабораторними випробуваннями, а також кількісною оцінкою точності моделей.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано багатовимірну модель сигналів вихрострумової матриці при гармонічному збудженні її елементів, що враховує неідентичності характеристик перетворювачів матриці і надає можливість обґрунтувати необхідність виконання операцій нормалізації сигналів в каналах

опрацювання для забезпечення автоматичного керування процесом хімічного фрезерування.

2. Набуло подальшого розвитку використання вихрострумowego контролю з перетворювачами матричного типу, що включає моделі інформаційних сигналів вихрострумової матриці, метод їх опрацювання за допомогою дискретного перетворення Гільберта для автоматизації процесу керування хімічним фрезеруванням, що призводить до підвищення його ефективності завдяки скороченню часу та збільшенню швидкості травлення.

3. Набуло подальшого розвитку використання вторинних інформативних ознак сигналів вихрострумової матриці у вигляді векторів кругових статистик, які отримані із дискретної фазової характеристики цих сигналів, що дає змогу підвищити ефективність процесу хімічного фрезерування за рахунок збільшення точності визначення товщини виробів в автоматичному режимі.

Наукові дослідження виконано відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 942 від 07.09.2011 “Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 2023 року” та згідно із планом досліджень кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», в рамках договору про співпрацю між КПІ ім. Ігоря Сікорського (м. Київ) та Фізико-механічним інститутом ім. Г.В. Карпенка НАН України (м. Львів). Автор був співвиконавцем ініціативного проекту “Дослідження вихрострумowego методу неруйнівного контролю з використанням імпульсного збудження перетворювача” (Державний реєстраційний номер 0116U004742, 2018 р.).

Таким чином, поставлене в дисертаційній роботі наукове завдання автоматизованого керування технологічним процесом хімічного фрезерування з використанням матричних вихрострумowych перетворювачів, 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 Левченка О.Е. 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 “Автоматизовані системи управління”.

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Левченка Олександра Едуардовича 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.

Застосована в роботі наукова термінологія є загальновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Дисертаційна робота складається із вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури та трьох додатків. Загальний обсяг дисертації 190 сторінок. Всі розділи дисертаційної роботи пов'язані між собою логікою розв'язання поставленої наукової проблеми.

У *вступі* здобувачем обґрунтовано актуальність теми дисертації, мета і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача, апробація результатів дисертаційної роботи, інформація щодо публікацій, структура та обсяг дисертаційної роботи.

У *першому розділі* дисертаційної роботи представлено огляд стану проблеми та обґрунтовано напрямки досліджень. Сформульовано загальну задачу та підходи до автоматизованого керування технологічним процесом хімічного фрезерування з використанням матричних вихрострумових перетворювачів. Наведено основні методи та засоби вимірювання товщини виробів під час хімічного фрезерування та їх тенденції розвитку, обґрунтовано вибір вихрострумових перетворювачів як найбільш ефективного засобу для даної задачі. Проведено аналіз попередніх робіт за темою дослідження та обґрунтовано мету і завдання даних напрямів дослідження.

У *другому розділі* роботи представлено застосування методу вихрострумового контролю (ВСК) для визначення часу травлення в процесі хімічного фрезерування (ХФ). Зокрема, акцентовано увагу на використанні матричних перетворювачів, які є ключовим компонентом систем автоматичного керування технологічними процесами (АСКТП). Проаналізовано процес формування сигналів ВСК, що дозволяє отримати інформативні параметри сигналів - амплітуду, фазу та частоту гармонічних сигналів. Визначено, що метод ВСК не потребує безпосереднього механічного контакту датчиків з виробами, що є важливою перевагою в умовах технологічного процесу ХФ. Розроблено моделі вихідних сигналів матричних перетворювачів та методологію їх аналізу на основі дискретного перетворення Гільберта. Здобувачем запропоновано підхід до отримання вторинних інформаційних ознак з фази сигналів ВСК та їх використання в контурі САК процесу ХФ.

У *третьому розділі* дисертаційної роботи здобувачем представлено розробку прототипу засобу вихрострумового контролю (ВСК) з використанням вихрострумових матриць (ВСКМ) для визначення товщини виробу в процесі його хімічного фрезерування (ХФ). Даний прототип інтегрований у контур визначення тривалості травлення в системі автоматичного керування (САК) процесу ХФ. Здобувачем запропоновано архітектурне рішення, яке забезпечує режим роботи прототипу, спрямований на підвищення ефективності та швидкості створення функціональних прототипів нових засобів ВСК для керування технологічними процесами. Апаратна частина пристрою побудована

на основі сучасних компонентів, що забезпечує високу адаптивність до різних завдань ВСК у складі АСКТП. Описано архітектуру програмного забезпечення засобу ВСК, створену на платформі Red Pitaya. Це програмне забезпечення реалізує методологію обробки і аналізу даних, розроблену в другому розділі. Воно інтегроване з апаратною частиною і дозволяє проводити глибокий аналіз характеристик сигналів ВСК, відстежуючи динаміку зміни їх амплітудно-фазових характеристик. Результати досліджень підтвердили ефективність запропонованого підходу і дозволили розширити можливості САК процесу ХФ на основі матричної технології ВСК.

У *четвертому розділі* дисертаційної роботи представлено експериментальне дослідження прототипу засобу ВСК з використанням матричних перетворювачів для визначення товщини виробу в процесі хімічного фрезерування (ХФ). В даному розділі зосереджено увагу на вдосконаленні технології ВСК шляхом нормалізації комплексних коефіцієнтів передачі вимірювальних каналів формування сигналів окремих перетворювачів. Представлено методику та алгоритм нормалізації, а також розглянуто варіанти автоматичних систем нормалізації коефіцієнтів передачі вимірювальних каналів з використанням фільтра Гільберта та синхронних детекторів. Окремо висвітлено питання оцінювання невизначеності результатів вимірювання товщини виробу та ефективності використання ВСК в САК процесу ХФ. Експериментальні дослідження підтвердили ефективність запропонованого підходу до нормалізації сигналів і дозволили покращити точність вимірювання товщини виробу. Результати цих досліджень узгоджуються з теоретичними прогнозами і модельними експериментами, представленими в попередніх розділах. Наукові висновки цього розділу були опубліковані в ряді наукових робіт.

У *п'ятому розділі* дисертаційної роботи зосереджено увагу на впровадженні розробленої двоконтурної системи керування процесом хімічного фрезерування виробів з алюмінієвих сплавів у промислових умовах. Розглянуто практичні аспекти реалізації та адаптації системи до специфічних вимог виробництва. Описано процес інтеграції системи в існуючі виробничі лінії та проведено аналіз ефективності її функціонування. Розроблено стратегії мінімізації відхилень від заданих параметрів, що дозволяє забезпечити високоякісну продукцію та зменшити виробничі втрати. Розглянуто економічні аспекти впровадження системи, зокрема, оцінено зменшення витрат на матеріали та підвищення ефективності використання виробничих ресурсів. У розділі також висвітлено екологічні аспекти використання нової системи керування, зокрема зменшення шкідливих викидів та оптимізація використання хімічних реагентів.

У *загальних висновках* до дисертаційної роботи сформульовано основні результати теоретичних та експериментальних досліджень, що представлені у роботі, відповідно до порядку та кількості сформульованих у вступі завдань дослідження.

У *додатках* наведено матеріали, що підтверджують новизну пропонуваніх технічних рішень та практичну цінність роботи, зокрема акти впровадження

результатів роботи, а також код програмного забезпечення засобу ВСК, які відображають працездатність розробок.

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 13 наукових публікаціях здобувача, серед яких: 7 статті у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичному науковому виданні, проіндексованому у базі даних Scopus, з яких 1 стаття у виданнях, віднесених до першого — третього квартилів (Q1—Q3) відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank.

Також результати дисертації були апробовані на 4 наукових фахових конференціях.

Усі публікації здобувача мають високий науковий рівень. Особистий внесок здобувачки до публікацій за співавторством вагомий.

Використані ідеї, результати і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело. Принципів академічної доброчесності у жодній з публікацій не порушено.

Кількість та якість публікацій відповідає «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого постановою КМУ від 12 січня 2022 р. № 44.

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

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.**

Загалом робота створює позитивне враження.

Не зважаючи на високий науковий рівень дисертації, її практичну значущість та актуальність по роботі є зауваження, а її окремі положення потребують пояснень:

1. При формулюванні пунктів наукової новизни доцільно було б вказати чим вони відрізняються від існуючих і в чому їх переваги.

2. У якості практичних значень отриманих результатів вказано розроблення методики та алгоритмічного забезпечення, яке дає змогу виконати операції нормалізації комплексних коефіцієнтів передачі вимірювальних каналів засобу ВСК з ВСМ, і на цій основі підвищити точність визначення товщини об'єкту виробництва в процесі хімічного фрезерування, проте у самому тексті відсутня інформація на скільки була підвищена ця точність.

3. У розділі 3 було б доцільним при розробленні засобу ВСК з матричними перетворювачами для САК процесу ХФ приділити увагу врахуванню надійності окремих компонентів засобу ВСК і системи в цілому та визначити ймовірність їх безвідмовної роботи.



4. Графічний інтерфейс програмного забезпечення системи ВСК (рисунки 3.6 – 3.10) – наведено англійською мовою. Було б раціональніше зробити підписи українською мовою.

5. В дисертаційній роботі відсутній аналіз коректності експериментів.

6. В дисертаційній роботі присутні деякі некоректності, допущені при оформленні, зокрема, при нумерації блоків блок-схем алгоритмів (рисунки 3.11, 4.1, 4.2), виконанні структурних схем систем автоматичного керування (рисунки 4.3, 4.4). Мають місце стилістичні неточності формулювань.

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.

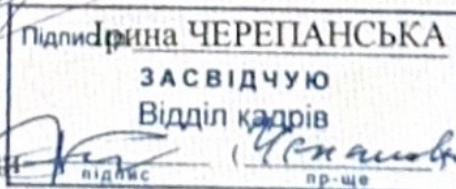
#### **Висновок про дисертаційну роботу.**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Левченка Олександра Едуардовича на тему “Автоматизоване керування технологічним процесом хімічного фрезерування з використанням матричних вихрострумів перетворювачів” 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 Автоматизації та комп’ютерно-інтегрованих технологій. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені 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 Левченко Олександр Едуардович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології.

#### **Рецензент:**

професор кафедри автоматизації та систем неруйнівного контролю  
Національного технічного університету України  
“Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського”,  
доктор технічних наук, професор



« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 року