

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу
Левченка Олександра Едуардовича
на тему «Автоматизоване керування технологічним процесом хімічного
фрезерування з використанням матричних вихрострумів перетворювачів»,
що представлена на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Актуальність теми дисертації

Удосконалення автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСКТП) є нагальною необхідністю в контексті прогресуючої індустріалізації та зростаючих вимог до якості продукції. Інтеграція вихрострумів контролю (ВСК) та вихрострумів матриць (ВСМ) у АСКТП представляє інноваційний підхід до підвищення ефективності виробництва, зокрема для оброблення електропровідних матеріалів. Ця інтеграція дає змогу здійснювати комплексний контроль якості продукції на етапі хімічного фрезерування, що є ключовим фактором для забезпечення конкурентоспроможності підприємств.

ВСК дозволяє перетворювати неелектричні параметри об'єкта в електричні сигнали, що є ключовим для ефективного керування технологічними процесами виробництва. Використання ВСК забезпечує можливість безконтактного вимірювання низки параметрів виробів, в тому числі товщини покриттів, контролю геометричних параметрів виробів та виявлення дефектів структури електропровідних матеріалів. Такий підхід необхідний у виробництві, де традиційні методи контролю можуть бути неефективними або неможливими.

Можливості засобів ВСК розширюються завдяки використанню в їх складі ВСМ, що дозволяє одночасно контролювати більші ділянки поверхні та збільшувати за рахунок цього обсяг інформації про вироби в технологічному процесі їх виготовлення. Це суттєво підвищує швидкість контролю та дає змогу виявляти навіть незначні відхилення від заданих параметрів. Використання ВСМ особливо ефективно при контролі складних геометричних форм та поверхонь великих розмірів.

Актуальними напрямками розвитку АСКТП з ВСМ є розроблення алгоритмів автоматичного визначення товщини виробів, їх покриттів та створення вдосконалених математичних моделей формування сигналів ВСМ для їх ефективного опрацювання. Розроблення таких алгоритмів дозволяє автоматизувати певні технологічні процеси, зменшуючи вплив людського фактору та підвищуючи надійність їх реалізації.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Дисертація Левченка О.Е. виконана на доволі високому науковому рівні. Вона охоплює низку важливих науково-технічних питань і демонструє глибоке розуміння тематики досліджень. Зазначені в дисертації пропозиції в цілому добре обґрунтовані та логічні. Робота непогано структурована, матеріал подано зрозуміло, а завдання дослідження чітко визначені. Достовірність висновків та рекомендацій підтверджується тим, що автор використав адекватні методи досліджень і навів порівняння отриманих теоретичних результатів з експериментальними даними.

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 вихрострумового 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.

Поставлене в дисертаційній роботі комплексне завдання в сфері автоматизації розв'язано у повному обсязі, здобувач продемонстрував володіння методологією наукових досліджень.

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.

Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури та додатків. Загальний обсяг дисертації 190 сторінок.

У вступі здобувачем обґрунтовано актуальність теми дисертації, наведена мета і завдання досліджень, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, зазначені особистий внесок здобувача,

інформація щодо апробації результатів дисертаційної роботи, відомості щодо публікацій, структури та обсягу 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 вихрострумів перетворювачів. Наведено основні методи та засоби вимірювання товщини виробів під час хімічного фрезерування та їх тенденції розвитку, обґрунтовано вибір вихрострумів 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 вихрострумів 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 вихрострумів матриць (ВСМ), що дозволяє отримати інформативні параметри сигналів, зокрема 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 ВСМ та їх використання в контурі системи автоматичного керування (САК) процесу ХФ.

У третьому розділі дисертаційної роботи здобувачем представлено розробку прототипу засобу ВСК з використанням ВСМ для визначення товщини виробу в процесі його ХФ. Даний прототип інтегрований у контур визначення тривалості травлення в 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 ВСМ, 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 ХФ. В даному розділі зосереджено увагу на вдосконаленні технології ВСК внаслідок нормалізації комплексних коефіцієнтів передачі вимірювальних каналів при формування сигналів окремих перетворювачів. Представлено методику та алгоритм нормалізації, а також розглянуто варіанти автоматичних систем нормалізації коефіцієнтів передачі вимірювальних каналів з використанням фільтру 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.

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.

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею і свідченням наявності особистого внеску здобувача у розвиток відповідного наукового напрямку «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Розглянувши звіт подібності за результатами перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Левченка О.Е. 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 державною мовою у загальноприйнятому для наукових видань стилі, її текст відповідає достатньому науково-професійному рівню. Виклад результатів досліджень, висновків та рекомендацій є чітким, послідовним і доступним для сприйняття.

Слід відзначити, що здобувач сформулював цілісний науковий апарат дослідження з належним визначенням його елементів, а саме об'єкту, предмету, мети та завдань дослідження. Кожен розділ дисертації має власну наукову значущість, слугує науковим підґрунтям для наступного розділу та в результаті об'єднання усіх розділів складається цілісне наукове дослідження.

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-ти наукових публікаціях здобувача, серед яких: 7 статей у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України; 1 стаття у періодичних наукових виданнях, проіндексованих у базах даних Web of Science Core Collection та/або Scopus, яка відноситься до першого — третього квартилів (Q1—Q3) у відповідності до класифікації SCImago Journal and Country Rank або Journal Citation Reports. Також результати дисертації були апробовані на 4-х наукових фахових конференціях.

У друкованих працях, які опубліковано у співавторстві, здобувачу належать: в роботі [1] - моделювання процесу виявлення сигналів вихрострумowego контролю за їх фазою, що дозволило оцінити ефективність запропонованого методу та його обчислювальну ресурсоемність; в роботах [2, 3, 4] - комплексний аналіз формування сигналів вихрострумowych перетворювачів, їх опрацювання за допомогою дискретного перетворення Гільберта, дослідження вторинних інформаційних ознак та статистик, отриманих з фази сигналів. Це забезпечило теоретичне підґрунтя для подальших досліджень, сприяло підвищенню інформативності методу та розширенню спектру діагностичних параметрів у вихрострумовой контролі; в роботі [5] - дослідження використання платформи Red Pitaya в технології прототипування автоматизованих систем вихрострумowego контролю, що відкрило нові можливості для створення гнучких та ефективних систем; в роботі [6] - аналіз використання кругових статистик в опрацюванні результатів фазових вимірювань, що підвищило точність та надійність отриманих результатів; в роботах [7, 8] - проведення вимірювальних експериментів з отриманням сигналів вихрострумowych перетворювачів та аналіз стандартів в частині використання гнучких вихрострумowych матриць для аналізу об'єктів складної форми. Це забезпечило емпіричну базу для подальших досліджень та сприяло розробці нових методик контролю, особливо для об'єктів зі складною геометрією.

Таким чином, наукові результати, одержані в дисертаційному дослідженні, повною мірою висвітлені у наукових публікаціях здобувача.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Назва дисертації «Автоматизоване керування технологічним процесом хімічного фрезерування з використанням матричних вихрострумів перетворювачів», на мою думку, є занадто широкою, оскільки вона більшою мірою орієнтована на обробку немагнітних та скоріше листових виробів, а про феромагнітні мова не йде. В тексті дослідження не міститься явне уточнення того, які обмеження в сенсі габаритів, виду матеріалу тощо є допустимими для виробів, що підлягають хімічному фрезеруванню. Доцільно було б скорегувати назву на кшталт «Автоматизоване керування технологічним процесом хімічного фрезерування немагнітних листових виробів ...».

2. Структура дисертації має певні вади, зокрема її пункт «4.5. Перспективи використання нейромережових технологій у засобах ВСК для САК процесу ХФ» здається є недоречним, адже не описує того, що зроблено в дисертації та взагалі не стосується технологічного процесу хімічного фрезерування. У розділі 5 дисертації доволі багато повторів раніше викладеного в ній матеріалу, зокрема знову міститься опис процесу хімічного фрезерування тощо. Він може бути значно скорочений за обсягом без жодної втрати суттєвих результатів досліджень.

3. В розділі 1 в критичному огляді літературних джерел, присвячених аналізованім питанням, у пункті «Аналіз ВСМ як датчиків в АСКТП», як на мене, чітко не обґрунтована перспективність використання ВСМ у товщинометрії. Автор не безпідставно стверджує, що основною перевагою їх застосування є більша площа одночасного контролю товщини виробу, що збільшує достовірність її визначення. Проте для цього із однаковим успіхом можливо використання групи розосереджених конвенційних ВСП, які нічим не поступаються матричним, крім притаманної їм високої просторової роздільної здатності, котра є вельми необхідною для дефектоскопії, а не для товщинометрії.

4. Дисертант в тексті дисертації не вказав явно яким саме методом геометричним (із встановленням на поверхню виробу котушок екранного перетворювача) чи електромагнітним (із встановленням зазором між котушками ВСП та виробом) проводяться вимірювання товщини виробу та з яких міркувань зроблений цей вибір, залишивши це на здогадку користувачам.

5. Так як використання екранного ВСП передбачає двосторонній доступ до поверхонь виробу незрозумілими є запроваджені заходи щодо запобігання міжосьовим зміщенням відповідних збуджувальних та приймальних котушок всіх перетворювачів матричного ВСП, особливо у випадках контролю товщини габаритних листів, що призводить до додаткових похибок із-за неідентичності цих зміщень.

6. Неоднорідність травлення при хімічному фрезеруванні приводить до збільшення шорсткості поверхонь виробів, тобто певним змінам геометрії об'єкту контролю, що впливає на результати вимірювань. Також до тих самих наслідків приводять локальні зміни електропровідності матеріалу виробів. Відомо, що фазовий метод оброблення сигналу екранного ВСП лише частково

нівелює зазначені проблеми. В тексті дисертації відсутні відомості щодо застосування додаткових заходів для придушення у сигналі товщиноміру зазначених шумових складових для забезпечення стійкої роботи АСКТП.

7. У тексті в цілому вправно написаної дисертації зустрічаються граматичні помилки.

Висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну в цілому 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 достатньо 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 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 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.

Офіційний опонент:

професор кафедри приладобудування,
мехатроніки та комп'ютеризованих
технологій Черкаського державного
технологічного університету,
професор, доктор технічних наук

Володимир ГАЛЬЧЕНКО

Підпис д.т.н., професора Гальченка Володимира Яковича засвідчую

Учений секретар Черкаського державного
технологічного університету

Ірина МИРОНЕЦЬ

М.П. «____» _____ 2024 року

