

Голові разової спеціалізованої
Вченої ради в
Національному університеті
«Одеська політехніка»
Доктору технічних наук, професору
Прокоповичу І.В.

РЕЦЕНЗІЯ

Офіційного рецензента, професора кафедри цифрових технологій в інжинірингу Навчально-наукового Інституту цифрових технологій, дизайну та транспорту Національного університету «Одеська політехніка», доктора технічних наук, доцента ГОЛОФЄСВОЇ МАРИНИ ОЛЕКСАНДРІВНИ на дисертацію ГОЛОБОРОДЬКА Володимира Володимировича за темою *«Розробка інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю процесу зовнішнього точіння»* подану до захисту в разову спеціалізовану вчену раду Національного університету «Одеська політехніка» Міністерства освіти і науки України на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

1. Актуальність теми дисертації

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-технічної проблеми, що пов'язана з вимірюванням параметрів теплового стану в зоні різання при зовнішньому точінні за допомогою інформаційно-вимірювальної системи на базі приладів інфрачервоної техніки. Для досягнення цієї мети в роботі проаналізовано основні закономірності теплоутворення та теплообміну процесу зовнішнього точіння, проведено аналіз та порівняння існуючих методів та засобів вимірювання температури, які можуть бути використані при обробці різанням.

Сформульована в дисертаційній роботі мета, відповідає обраному напрямку дослідження, отримані результати мають наукову новизну, практичну цінність та сприяють досягненню мети.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації

З метою підвищення інформативності та достовірності результатів безконтактного вимірювання температури приладами інфрачервоної техніки було обрано підхід до моделювання теплового стану зони різання на основі рівняння теплопровідності з урахуванням початкових та крайових умов. Для верифікації експериментальних значень, що отримані при тепловізійному контролі, визначена спрощена математична модель.

Визначено методики оцінювання метрологічних характеристик інформаційно-вимірювальних систем на основі приладів інфрачервоної техніки систем, в тому числі, встановлення просторової та температурної роздільної здатності (теплової чутливості), з урахуванням характеристик поля зору приладу інфрачервоної техніки. Проведений аналіз складових невизначеності тепловізійних вимірювань, в тому числі, оцінено вплив кута депресії на відбитки проєкцій вертикальних та горизонтальних складових поля зору та коефіцієнту випромінювальної здатності матеріалів, що оброблюються.

Для розпізнавання та автоматичної обробки термограм запропоновано алгоритм з використанням згорткової штучної нейронної мережі на базі архітектури U-Net. Для навчання нейронної мережі був використаний алгоритм з «Вчителем». В той же час, для формування якісної навчальної вибірки автором розроблено гібридний алгоритм бінаризації термограм, що дає можливість створювати маски для виділення зон різання. Інтерфейс дозволяє реалізовувати опрацювання інших термограм на базі вже навченої моделі.

3. Наукова новизна одержаних результатів

В дисертації автором отримано нові, науково обґрунтовані результати, що, в сукупності, розв'язують важливу науково-технічну проблему, що пов'язана з вимірюванням параметрів теплового стану в зоні різання при зовнішньому точінні за допомогою інформаційно-вимірювальної системи на базі приладів інфрачервоної техніки.

При цьому одержані наступні наукові результати:

Вперше запропонована нейромережева модель для інтелектуального аналізу термограм зони різання при зовнішньому точінні, яка навчається на комбінованих експериментальних і модельних даних, характеризується високою чутливістю та можливістю адаптивної інтерпретації теплових карт в реальному часі, що дозволяє автоматично виявляти аномалії теплових полів та підвищує надійність управління тепловими процесами під час різання за рахунок використання згорткової нейронної мережевої архітектури;

запропоновано аналітичну залежність для оцінювання невизначеності кривої апроксимації зміни температури з часом за результатами вимірювань за допомогою інфрачервоних тепловізійних камер шляхом врахування залишків моделі.

Отримали подальший розвиток математична модель теплоутворення та теплообміну в зоні різання за рахунок введення коригувального коефіцієнту, який враховує вплив зміни форми стружки при змінні режиму різання та уточнює складові приросту температури для джерел тепла, яка дозволяє здійснювати верифікацію результатів безконтактних вимірювань температури при зовнішньому точінні; підходи до оцінювання складових сумарної невизначеності вимірювання температури при безконтактному вимірюванні за допомогою приладів інфрачервоної техніки методом статистичного аналізу, на основі аналізу ROI, тепловізійних зображень з обробкою піксельних значень та методом наближеного аналітичного представлення вимірювання температури, враховуючи вплив температури відбиття, що дозволяє оцінити вплив джерел невизначеності в умовах реального експерименту.

4. Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 8 публікаціях, з них: 2 статей у наукових фахових виданнях України з технічних наук, 2 роботи проіндексовано в міжнародній наукометричній базі Scopus, 4 публікації у працях і матеріалах наукових конференцій.

Публікації охоплюють всі розділи дисертації та досить повно відображають зміст і результати досліджень і розробок, наведених в роботі.

Аналіз публікацій та особистого внеску в них здобувача показує, що всі наукові положення та висновки, що містяться в дисертації та виносяться на захист, отримано здобувачем самостійно в період з 2022 по 2025 рр. і узагальнено при оформленні дисертації.

5. Значення роботи для науки та практики

Найбільш істотне значення для науки і практики полягає у подальшому розвитку безконтактних методів вимірювань температури приладами інфрачервоної техніки та теорій невизначеностей вимірювань.

Наведені в дисертації наукові положення дозволяють відзначити наукову значимість роботи, яка визначається впливом на існуючі концепції та підходи щодо автоматизації аналізу термографічних зображень з урахуванням

оцінювання метрологічних характеристик для отримання достовірної експериментальної інформації. Зважаючи на новизну, концептуальність, доказовість та перспективність наукових положень дисертації, їх теоретичне значення можна оцінити як високе внаслідок того, що результати дослідження визначають принципи застосування теоретичних положень на практиці та створюють нові перспективи для прикладних досліджень.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Дисертація містить результати власних досліджень автора. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело. Фактів порушення академічної доброчесності в дисертації здобувача не знайдено.

7. Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

7.1. Робота перевантажена абревіатурами, що ускладнює читання та розуміння тексту.

7.2. З роботи не зрозуміло, як саме запропонований метод контролю дозволяє оперативно оцінити розподіл температур на поверхні різального інструменту (що істотно впливає на знос різальної частини інструменту), адже доступу приладів інфрачервоної техніки до цієї поверхні під час процесу різання в режимі реального часу не має. Це ж саме стосується температури в зоні різання, тобто значення температури по всій довжині контакту різальної кромки і заготовки. Хоча на стор. 22 зазначено, що саме ця температура впливає на характер пластичної деформації, утворення стружки, наріст, усадку стружки, сили різання та мікроструктуру поверхневого шару оброблюваної деталі, а відповідно і якість виробу, що виготовляється.

7.3. З роботи не зрозуміло, чи можуть використовуватися запропоновані підходи тепловізійного контролю стану процесу зовнішнього точіння сучасних оброблювальних центрах, де існує повне огороження робочої зони та автоматичні системи змащення та охолодження. Не показано, чи враховується зміна випромінювальної здатності поверхні пари оброблювальний-інструментальний матеріал при використанні мастильноохолоджувальних технологічних середовищ. В той же час, на стор. 32 зазначено, що саме цей коефіцієнт закладається при розрахунках температури за допомогою тепловізійного обладнання.

7.4. В підрозділі 2.2 описано створення програми-симулятора для автоматизації процесу розрахунку температури різання та візуалізації

отриманих результатів. При цьому була використана модель, яка заснована на принципі вимірювання методом натуральної термопари. В той же час, в таблиці 1.1. на стор. 26 вказано, що недоліком такого методу вимірювання є «відсутність стандартних залежностей ТЕРС - °С для оброблюваного та інструментального матеріалів та необхідність отримання тарувальних графіків для конкретних пар матеріалів заготовка - різальний інструмент». З роботи не зрозуміло, чи проводилися такі заходи. Бажано було б навести отримані тарувальні графіки.

7.5. На стор. 82 наведена формула (2.40) розрахунку невизначеності вимірювання за типом А. При цьому вказується, що це невизначеність, «яка пов'язана з тепловою чутливістю для камер, представлених в таблиці 2.1 та може бути оцінено з урахуванням впливу температурної нестабільності об'єкту». Очевидно, що на дисперсію результатів показань приладів інфрачервоної техніки, а, відповідно і складову невизначеності за типом А, впливають і інші фактори. Результат такої дії оцінюється в комплексі, оскільки визначити окремо вплив кожного з них при обробці результатів показань багаторазових вимірювань неможливо. Це ж саме стосується формули (2.44).

7.6. В таблицях 4.1 та 4.4 наведені коефіцієнти випромінювальної здатності для пари оброблювальний/інструментальний матеріал одним числом. Хоча, очевидно, що їх випромінювальна здатність різна. До якого саме матеріалу відносяться зазначені характеристики?

7.7. В роботі використовуються терміни «кут спостереження» та «кут депресії». Не зрозуміло, чи вони тотожні. Бажано було б зробити пояснення, що мається на увазі під «кутом депресії».

8. Загальний висновок про відповідність роботи встановленим вимогам

Вказані дискусійні моменти не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи ГОЛОБОРОДЬКА В.В. «Розробка інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю процесу зовнішнього точіння», яка є цілісним, самостійним, завершеним науковим дослідженням, що вирішує важливе науково-прикладне завдання, має теоретичну і практичну цінність у галузі «Автоматизація та приладобудування». На підставі вищезазначеного можна констатувати, що дисертаційна робота ГОЛОБОРОДЬКА В.В. відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора

філософії, затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор – ГОЛОБОРОДЬКО ВОЛОДИМИР ВОЛОДИМИРОВИЧ – заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії у галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування» за спеціальністю 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка».

Офіційний рецензент:

професор кафедри цифрових
технологій в інжинірингу
Навчально-наукового інституту
цифрових технологій, дизайну
та транспорту Національного
університету «Одеська політехніка»,
доктор технічних наук, доцент
Марина Голофєєва

Підпис професора Голофєєвої М.О.
засвідчую