

Голові разової спеціалізованої вченої ради
Національного університету
«Одеська політехніка»,
директору Навчально-наукового
інституту медичної інженерії,
доктору технічних наук, професору
Ігорю ПРОКОПОВИЧУ

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора

МИГУЩЕНКА Руслана Павловича

на дисертаційну роботу **ГОЛОБОРОДЬКА Володимира Володимировича**

«Розробка інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю
процесу зовнішнього точіння»,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Актуальність теми дисертації

Вимірювання температури в зоні різання під час виготовлення деталей машин є складною технічною задачею. Як відомо, виникнення високих температур різання може приводити до інтенсивного зношування різального інструменту, скорочення його стійкості, зниження точності обробки та погіршення якості поверхневого шару оброблюваної деталі.

Тому, питання пов'язані з розробкою інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю параметрів теплового стану в зоні різання при зовнішньому точінні є актуальними.

Дисертаційну роботу Голобородька В.В. можна охарактеризувати як наукове дослідження, спрямоване на вирішення однієї з найбільш складних

науково-технічних задач, пов'язаної із забезпеченням достовірності та метрологічної надійності результатів тепловізійного контролю процесу різання зовнішнього точіння. Вирішення цієї задачі відбувалось за рахунок визначення методики оцінювання метрологічних характеристик тепловізійних систем, запропонування спрощеної математичної моделі для верифікації експериментальних температур, вимірюваних тепловізором та алгоритму для розпізнавання та автоматичної обробки термограм з використанням штучної нейронної мережі. Це дає право стверджувати, що дослідження в цьому напрямку є вкрай актуальним.

Виходячи з цього, автором було коректно та обґрунтовано сформульовано мету дисертаційної роботи – розробка інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю теплового стану процесу зовнішнього точіння шляхом створення програмного забезпечення з інтеграцією згорткових нейронних мереж для автоматизації аналізу отриманих даних вимірювань з урахуванням оцінювання метрологічних характеристик для отримання достовірної експериментальної інформації, що відповідає поставленим завданням у роботі.

Робота виконувалася у відповідності до технічних завдань науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська політехніка» № 244-27 «Дослідження технічних систем і їх метрологічне забезпечення» (ДР № 0124U002860) та № 117-27 «Ресурсозберігаючі технології в машинобудуванні; технологічна динаміка металообробляння» (ДР № 0116U004530).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій сформульованих у дисертаційній роботі ґрунтується на всебічному аналізі літературних джерел і узагальненні наявного досвіду з досліджуваної проблеми та комплексному підході. У дослідженні використовувались теоретичні та експериментальні методи дослідження, зокрема основні положення математичного моделювання та теорії різання для визначення математичної моделі теплового стану об'єкту дослідження при тепловізійному контролі, що дозволяє використовувати її в якості інструменту для верифікації

експериментальних температур отриманих методом тепловізійного контролю. Методи математичної статистики для аналізу та обробки отриманих експериментальних результатів досліджень; математичного й обчислювального моделювання, теорії алгоритмів та бінаризації з використанням Python 3 та фреймворку OpenCV для нейромережевого аналізу і обробки зображень та відео. Також використовувались методи та засоби розробки ІВС, що включають обробку зображень, роботу з радіометричними файлами та аналіз температурних полів. Для оцінювання точності методу тепловізійних досліджень застосовувались методи та підходи з теорії вимірювань та оцінювання невизначеностей. Це в цілому характеризує дану роботу всебічним та комплексним підходом до вирішення оставлених науково-технічних завдань.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій

Отримані наукові положення, сформульовані висновки та практичні рекомендації підтверджуються коректним застосуванням математичних методів та визначених підходів, отриманими результатами комп'ютерного моделювання та проведених експериментів, які демонструють адекватність застосованих моделей. Сукупність використаних методів та підходів засвідчують високу достовірність отриманих результатів досліджень автором дисертаційної роботи.

Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій

Автором отримано та підтверджено в дисертаційному дослідженні такі наукові положення:

– Вперше запропонована нейромережева модель для інтелектуального аналізу тепловізійних зображень зони різання з метою автоматичного виявлення теплових аномалій та підвищення надійності управління тепловим процесом різання за рахунок використання згорткової нейронної мережі з архітектурою U-Net, що навчається на комбінованих експериментальних і модельних даних, і характеризується високою чутливістю, а також можливістю адаптивної інтерпретації теплових карт в реальному часі при мінливих умовах

різання, що вигідно відрізняє її від існуючих методів аналізу, заснованих на пороговій фільтрації або ручній інтерпретації тепловізійних зображень.

– Вперше запропоновано аналітичну залежність для оцінювання невизначеності апроксимаційної моделі зміни температури з часом за результатами вимірюваної радіометричної інформації з інфрачервоних тепловізійних відео шляхом врахування залишків моделі, що дає змогу підвищити достовірність оцінювання комбінованої стандартної невизначеності.

– Отримала подальший розвиток математична модель, що описує фізичні закономірності теплоутворення та теплообміну в зоні різання шляхом введення коригувального коефіцієнту, який враховує вплив зміни форми стружки із зміною режиму різання та уточнює складові приросту температури для джерел тепла, що дозволяє здійснювати верифікацію результатів тепловізійного контролю теплових процесів зовнішнього точіння.

– Отримали подальший розвиток підходи до оцінювання складових комбінованої невизначеності вимірювання температури при тепловізійному контролі методом статистичного аналізу, безпосередньо на основі аналізу ROI, реальних термограм з обробкою піксельних значень як множини експериментальних вимірювань та методом наближеного аналітичного представлення вимірювання температури для врахування внеску від впливу температури відбиття, яку визначено на основі моделі розподілу випромінювання між власною та відбитою складовими, що дозволяє оцінити вплив джерел невизначеності в умовах реального експерименту.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання

Практична значимість отриманих результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному: запропоновані науково-технічні рішення сприятимуть підвищенню точності аналізу характеристик теплового стану зони різання процесів зовнішнього точіння з використанням ІВС тепловізійного контролю; сформовані положення та здобуті результати, можуть бути використані машинобудівними підприємствами, як методичні рекомендації для проведення тепловізійних досліджень в сфері механічної обробки різанням.

Наукові положення, висновки та рекомендації, одержані автором дисертації включено в освітні компоненти за освітньою програмою «Інформаційно-вимірювальні технології» Національного університету

«Одеська політехніка».

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях

Наукові положення, висновки та рекомендації, які наведені в дисертації, достатньо повно висвітлені у 8 наукових публікаціях та відповідають вимогам пункту 8 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 12.01.2022 р. № 44. Результати дисертації опубліковано у 4 спеціалізованих наукових виданнях (2 з яких входять до міжнародної наукометричної бази Scopus, 2 у наукових фахових виданнях України категорії Б), одна публікація апробаційного характеру, а також 3 в матеріалах міжнародних науково-технічних конференціях та всеукраїнського форуму. Внесок здобувача в опублікованих наукових працях у співавторстві зазначено у дисертації.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Усі результати дослідження представлені до захисту, отримані автором самостійно. Порушень академічної доброчесності в дисертаційній роботі здобувача не виявлено. Використання ідей, результатів та текстів інших авторів мають посилання на відповідні джерела.

Дискусійні положення та зауваження щодо змісту дисертації

Загалом оцінюючи дисертаційну роботу Голобородька Володимира Володимировича позитивно та її високий науковий рівень, слід зазначити що до роботи є деякі зауваження, які не впливають на її загальну якість та достовірність отриманих результатів:

1. У тексті дисертації зустрічаються різні позначення температури, доцільно використовувати стандартизоване, яке відповідатиме галузевому контексту.

2. Оцінювання невизначеності зміни температури за часом $T(t)$ у

випадку застосування тепловізійних відеокамер, яке здійснювалося на основі радіометричної інформації, отриманої за результатами експериментів (стор. 90), відображає фізичну динаміку процесу та логічно описано, але графічне представлення з використанням блок-схеми чи алгоритму дозволило б покращити наочність та розуміння запропонованої методики.

3. В роботі проведено оцінювання впливу кута депресії на відбитки проєкцій вертикальних та горизонтальних складових поля зору з урахуванням випромінювальної здатності оброблюваних матеріалів для забезпечення точності та достовірності отриманих результатів вимірювань, що дійсно є важливим при проведенні тепловізійних досліджень. Але мій погляд, вибір кута спостереження повинен здійснюватися не лише з точки зору метрологічної достовірності, але й з урахуванням процесу утворення та відведення стружки із зони різання, яка може в деяких випадках й повністю перекривати зону контакту інструмента із заготовкою та, відповідно, унеможлиблювати коректне спостереження. В роботі не наведено, як саме це враховувалось при проведенні експериментів.

4. Застосована автором архітектура нейронної мережі U-Net достатньо детально описана в 3 розділі, але слід було би навести розширене пояснення щодо вибору обраної архітектури U-Net з більш детальним обґрунтуванням вибору у порівнянні з іншими архітектурами нейронних мереж.

5. В роботі зазначено, що для навчання нейронної мережі при виокремленні зони різання використовувалась функція втрат у вигляді зваженої крос-ентропії, але, водночас, в роботі не наведено які переваги надає використання саме цієї функції.

6. В роботі було наведено обробку відео файлів термограм, проте, не було зазначено, які обмеження можуть виникати при обробці довгих відео або відеопотоку та як вони долаються у даному підході.

Загальна оцінка дисертації

Дисертаційна робота Голобородька Володимира Володимировича на тему «Розробка інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю процесу зовнішнього точіння» є завершеним, самостійно виконаним дослідженням, оформленим у відповідності до чинних вимог. Вона містить

раніше не захищені наукові положення, одержані автором нові науково обґрунтовані результати, які відрізняються новизною і мають практичну цінність, що забезпечує вирішення актуальної науково-технічної задачі вимірювання параметрів теплового стану в зоні різання при зовнішньому точінні із застосуванням інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю.

Одержані наукові та практичні результати є значущими для галузі 15 – Автоматизація та приладобудування. Дисертаційна робота відповідає затвердженій освітньо-науковій програмі «Одеської політехніки» за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка та вимогам 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 12.01.2022 р. № 44 (із змінами).

Вважаю, що здобувач Голобородько Володимир Володимирович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 15 – Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, професор,
проректор з науково-педагогічної роботи,
професор кафедри інформаційно-
вимірювальних технологій
Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»

Руслан МИГУЩЕНКО