

ВИСНОВОК

**про наукову новизну, теоретичне та практичне значення
результатів дисертації Голобородька Володимира Володимировича на тему
«Розробка інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю
процесу зовнішнього точіння»,
поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка,
в галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування**

За дорученням директора Навчально-наукового інституту цифрових технологій, дизайну та транспорту д.т.н., професора Тонконого В.М. розглянуто публічну презентацію дисертаційної роботи Голобородька Володимира Володимировича кафедрою цифрових технологій в інжинірингу під головуванням д.т.н., професора, завідувача кафедри Тіхенка Валентина Миколайовича.

1. Актуальність теми дисертаційної роботи

Температура в зоні різання істотно впливає на знос інструменту, точність обробки та експлуатаційні властивості деталей, тому її достовірне вимірювання є важливою умовою оптимізації технологічних процесів. Контактні методи контролю мають конструктивні обмеження та не дають повної картини температурного поля. У цьому контексті актуальності набувають безконтактні методи, зокрема інфрачервона термографія, яка забезпечує візуалізацію теплових процесів у режимі реального часу. Водночас відсутність методик та метрологічного забезпечення обмежує їх застосування, що зумовлює необхідність подальших досліджень у цьому напрямку.

2. Мета дисертаційного дослідження

Метою дисертаційної роботи є 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.

Для досягнення вказаної мети дослідження в дисертаційній роботі було поставлено та розв'язано наступні *задачі*:

- проаналізовано джерела виділення теплоти в процесі різання та існуючі системи контролю теплового стану, виявлено фактори, що впливають на ефективність використання методів та їх метрологічні характеристики;
- визначено математичну модель теплового стану об'єкту дослідження при тепловізійному контролі;
- визначено характеристики, що впливають на процеси вимірювання та контролю теплового стану, такі як: відстань до об'єкту дослідження та кут спостережень, роздільна здатність та поле зору тепловізорів, випромінювальна здатність оброблюваних матеріалів;
- визначено методологію та підходи проведення експериментальних досліджень теплового стану процесу різання механічної обробки із застосуванням тепловізійного контролю;
- визначено ключові аспекти розробки інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю та обґрунтовано вибір нейромережевої моделі;
- проаналізовано метрологічні характеристики розробленої інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю;
- наведено ґрунтовний аналіз складових невизначеності вимірювань при проведенні тепловізійних досліджень;
- проведено практичну апробацію методики використання розробленої інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю.

Об'єктом дослідження – процес вимірювання параметрів теплового стану що виникає при зовнішньому точінні з використанням тепловізійних камер.

Предмет дослідження – методи і засоби вимірювання теплового стану процесу різання з використанням тепловізійних камер.

3. Зв'язок дисертаційної роботи з науковими програмами, науковими напрямами Університету та кафедри

Дисертаційна робота виконувалася у відповідності до науково-дослідних робіт Національного університету «Одеська політехніка», а саме № 244-27 «Дослідження технічних систем і їх метрологічне забезпечення» (№ Д/Р 0124U002860) 2021-2025 рр., № 683-135 «Теоретичні основи побудови та методи реалізації в реальному часі динамічних математичних моделей зміни станів складних об'єктів» (№ Д/Р 0114U002772).

4. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Усі наукові результати, положення, висновки та рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, отримані здобувачем самостійно. Автору належать основні

ідеї, пов'язані з: розробкою інформаційно-вимірювальної системи тепловізійного контролю процесу зовнішнього точіння, складання математичної моделі теплового стану об'єкта, а також розробкою підходів до врахування метрологічних характеристик, що впливають на точність температурних вимірювань. Здобувачем самостійно сформовано наукову концепцію дослідження, запропоновано відповідні математичні моделі, структуру та алгоритми функціонування інформаційно-вимірювальної системи, обґрунтовано доцільність використання нейромережевих технологій для аналізу термограм, а також проведено моделювання, експериментальні дослідження та верифікацію отриманих результатів.

У наукових публікаціях, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі основні результати:

- постановка наукових завдань і формулювання цілей дослідження [1-4];
- проведення теоретичного аналізу літературних джерел та визначення підходів до проведення термографічних досліджень теплового стану процесів різання [1, 2, 4];
- опис спрощеної математичної моделі теплових процесів зовнішнього точіння та проведення верифікації результатів тепловізійних досліджень з використанням тепловізійної камери [4];
- визначення впливу параметрів режимів різання на теплоутворення в зоні контакту різального інструменту із заготовкою за допомогою створеного програмного тренажера за результатами опрацювання експериментальних даних отриманих методом вимірювання температури термопарами [3, 7];
- обґрунтовано вибір та реалізовано метод бінаризації термограм для автоматизованого виділення зони різання [1];
- планування та виконання експериментальних досліджень, обробка експериментальних даних [1-7];
- формулювання висновків і підготовка основного тексту публікацій [1-8].

5. Достовірність та обґрунтованість отриманих результатів та запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій

Факт відсутності порушення академічної доброчесності підтверджується:

– протоколами програми StrikePlagiarism [Повний та короткий звіти подібності] від 26.06.2025 року, який опрацьовано фахівцями кафедри цифрових технологій в інжинірингу (кафедра є випусковою з підготовки докторів філософії з спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальні технології»), які

зробили висновок, що дисертаційна робота відповідає нормам академічної доброчесності;

– достатньою кількістю публікацій здобувача за темою дисертаційного дослідження в рецензованих виданнях, в яких здійснюється обов’язкова перевірка поданих робіт на відсутність запозичень.

6. Ступінь новизни основних результатів дисертаційної роботи порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Ступінь новизни основних результатів дисертаційної роботи визначено шляхом порівняння отриманих результатів із відомими науковими розробками, що виконані в аналогічному напрямі досліджень. Аналіз дозволив виявити відмінності, удосконалення та нові підходи, які підтверджують самостійний внесок здобувача у розвиток відповідної наукової проблематики, зокрема:

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.

7. Наукове та практичне значення результатів дисертаційного дослідження

Запропоновані у роботі науково-технічні підходи спрямовані на підвищення точності оцінювання температурних параметрів теплового стану при зовнішньому точінні, що здійснюється за допомогою безконтактних методів із застосуванням інформаційно-вимірювальних систем тепловізійного контролю.

Отримані результати можуть бути використані в системах управління технологічними процесами обробки матеріалів у реальному часі в промисловому секторі (машинобудівні підприємства). Сформульовані положення можуть бути використані при розробці рекомендацій щодо організації та оцінювання точності термографічного аналізу в сфері обробки матеріалів різанням. Практичне застосування результатів дослідження підтверджуються документами впровадження результатів дисертаційної роботи в освітній процес підготовки здобувачів у галузі метрології та інформаційно-вимірювальних технологій.

8. Повнота опублікування результатів дисертаційного дослідження та особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих у співавторстві та зарахованих за темою дисертації

Результати дисертаційного дослідження знайшли відображення у наукових публікаціях, що засвідчує високий рівень апробації отриманих результатів. Особистий внесок здобувача в кожну з таких праць є суттєвим і обґрунтованим, що підтверджує самостійність і наукову новизну представленого дослідження, зокрема у публікаціях:

1. Oborsky, G.A., **Goloborodko V.**, Perperi L.M. 2024. Implementation of the hybrid binarisation method for thermogram analysis. Proceedings of Odessa Polytechnic University. 2(70) (2024), 123–130. <https://doi.org/10.15276/opu.2.70.2024.14> (Реєстр наукових фахових видань України, **категорія Б**)

2. Oborskyi, G., Gugnin, V., Perperi, L., Goloborodko, G., **Goloborodko, V.** (2024). Evaluation of Dust Concentration Using Computer Measurement Technologies. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G., Pavlenko, I. (eds) Advanced Manufacturing Processes V. InterPartner 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-42778-7_50 (**Scopus, Q 3**)

3. Gugnin, V., Perperi, L., Oborskyi, G., Goloborodko, G., **Goloborodko, V.** (2025). Development of a Simulator Program for Studying the Effect of Cutting Modes on Cutting Temperature. In: Tonkonogyi, V., Ivanov, V., Trojanowska, J., Oborskyi, G. (eds) Advanced Manufacturing Processes VI. Interpartner 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-82746-4_25 (**Scopus, Q 3**)

4. **Голобородько В.**, Перпері Л. Верифікація результатів тепловізійного контролю теплових процесів зовнішнього точіння на основі математичного моделювання теплового стану зони різання // Міжнародний науково-технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах». – 2025. – № 2. – С. 142–150. – DOI: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-82-19>. ISSN 2219-9365 (Реєстр наукових фахових видань України, **категорія Б**)

5. H. Oborskyi, V. Gugnin, L. Perperi, G. Goloborodko, **V. Goloborodko.** Simulation modelling in the tasks of digital engineering in the creation of information-measuring systems. Proceedings of Odessa Polytechnic University, Issue 1(65), 2022. P. 129 – 136. URL: <https://doi.org/10.15276/opu.1.65.2022.15>

6. **Голобородько В.В.**, Оборський Г.О., Перпері Л.М. Цифрові трансформації Industry 4.0: виклики та можливості в сфері метрології / Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 6-7 грудня 2023 р., м. Одеса. – Одеса: 2023. – С. 64 – 65. <https://drive.google.com/file/d/1p8DLQpjO483tkaO55Px66qc01x74r-Jc/view>

7. **Голобородько В.В.**, Оборський Г.О., Перпері Л.М. Застосування тепловізора для вимірювання температури в зоні різання при токарній обробці / Нові та нетрадиційні технології в ресурсо- та енергозбереженні: Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, 11–12 грудня 2024 р., м. Одеса. – Одеса: 2024. – С. 188 – 190.

8. Перпері Л.М., Голобородько Г.М., Гугнін В.П., **Голобородько В.В.** Застосування сучасних комп'ютерних технологій в підготовці здобувачів за інженерними спеціальностями / Всеукраїнський науково-педагогічний форум «Інноваційні технології в освіті», 21-22 жовтня 2024 р., м. Івано-Франківськ, ІФНУНГ (секція "Організація освітнього процесу із застосуванням сучасних

технологій дистанційного, змішаного навчання і дуальної форми навчання"), С. 33-34. <https://drive.google.com/file/d/1W-WBi3HRaeexBl2kgewHx4y-3QcMiUHQ/view>

9. Апробація результатів дисертаційної роботи

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на Міжнародних науково-технічних конференціях, зокрема:

- Нові та нетрадиційні ресурсо- та енергозберігаючі технології, грудень 2023 р., м. Одеса;
- InterPartner 2023, вересень 2023 р., м. Одеса;
- InterPartner 2024, вересень 2024 р., м. Одеса;
- Всеукраїнський науково-педагогічний форум «Інноваційні технології в освіті», жовтень 2024 р., м. Івано-Франківськ;
- Нові та нетрадиційні ресурсо- та енергозберігаючі технології, грудень 2024 р., м. Одеса;
- SIEMS-2025, травень 2025 р., м. Запоріжжя.

Окремі результати були впроваджені у навчальний процес, що підтверджено відповідним документом про впровадження результатів дослідження.

10. Відповідність дисертаційної роботи вимогам, що передбачено пунктами 6 і 7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії»

В цілому, дисертаційна робота є *завершеною науковою працею*, що відповідає вимогам спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

За актуальністю, науковою новизною, теоретичним, методичним та практичним значенням, обґрунтованістю одержаних результатів та оформленням, дисертаційна робота Голобородька Володимира Володимировича відповідає чинним вимогам Міністерства освіти і науки України, зокрема, п. п. 6 і 7 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», та може бути рекомендована до захисту на здобуття ступеня доктора філософії у галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка.

Головуючий на засіданні
д.т.н., професор



Валентин ТІХЕНКО