

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Дзіковської Юлії Миколаївни

«Нормативно-технічне забезпечення вимірювань

розподілу температури теплового поля об'єктів промисловості та медицини»,
подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за
спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне
забезпечення

Дисертаційна робота Ю.М. Дзіковської містить в собі нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати, що у сукупності є досягненням у вирішенні важливого науково-практичного завдання підвищення точності та забезпечення єдності вимірювання температури за інфрачервоним випромінюванням для об'єктів промисловості й медицини.

Актуальність теми дисертаційного дослідження. Розширення кола науково-практичних завдань термометрії пов'язано з актуальністю розвитку методів активного теплового контролю. Останнім часом суттєво зріс інтерес до застосування приладів інфрачервоної техніки в різних галузях, зокрема, для дослідження об'єктів промисловості і медицини. Це, в першу чергу, пов'язано з тим, що температура, як кількісний показник внутрішньої енергії тіл, є універсальною характеристикою об'єктів і процесів фізичного світу, в якому безперервно відбувається генерація, перетворення, передача, накопичення і застосування енергії в різних її формах. При цьому тепловізійна техніка стає незамінним інструментом для аналізу теплових процесів і дозволяє отримати різноманітну інформацію щодо стану об'єктів контролю. До переваг тепловізійного методу можна віднести інформативність, дистанційність, високу швидкість проведення робіт, мобільність апаратури, безпеку, відсутність необхідності виведення об'єкта контролю з експлуатації, однак застосування такого методу обмежується певними труднощами, які часто призводять до істотного зниження точності вимірювання. Відомо, наприклад, що потужність випромінювання, яка досягає чутливого елемента приладів інфрачервоної техніки, є функцією температури досліджуваної ділянки поверхні і заздалегідь невідомого коефіцієнта випромінювання, який, в свою чергу, залежить від матеріалу, стану поверхні об'єкта контролю та напрямку, в якому спостерігається випромінювана поверхня. Саме невизначеність в завданні випромінювальної здатності поверхні досліджуваного об'єкта є основною складністю при розрахунках температур за результатами тепловізійних вимірювань.

Урахування відхилення реального значення коефіцієнта випромінювальної здатності поверхні об'єкта контролю від номінального дають можливість підвищити точність вимірювання температури за допомогою приладів інфрачервоної техніки. Крім того, в робочих умовах експлуатації, може бути присутнім значне фонове випромінювання та змінюватися коефіцієнт пропускання проміжного середовища, що істотно впливатиме на точність вимірювання. З огляду на це стає актуальним розроблення методів та засобів вимірювань температури за інфрачервоним випромінюванням, спрямованих на підвищення точності отриманих результатів. Водночас зростає і зацікавленість у можливості забезпечення додаткового калібрування з метою врахування дії впливних факторів безпосередньо перед виконанням вимірювань, що спрямовано на забезпечення їх єдності.

У такий спосіб розроблення системи заходів нормативно-технічного характеру, спрямованих на підвищення точності та забезпечення єдності вимірювання температури поверхні об'єктів у промисловості та медицині зумовлює актуальність даної роботи.

Актуальність теми підтверджується також державними керівними документами, зокрема Законом України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», Законом України «Про енергозбереження» від 01.04.1994 р. № 74/94-138, Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність» № 1314-18 від 05.06.2014 тощо, у яких враховуються вимоги основоположних міжнародних документів, що регламентують найважливіші аспекти зазначеної галузі, зокрема, підвищення точності результатів вимірювань.

На виконання цих Законів спрямована й науково-дослідна робота «Розроблення методів та методик вимірювання температури за випромінюванням» (реєстраційний № 01116U006726), у межах якої виконана дисертаційна робота.

Таким чином, представлена до розгляду дисертаційна робота Ю.М. Дзіковської спрямована на розв'язання важливого науково-практичного завдання забезпечення точності та єдності вимірювання температури за інфрачервоним випромінюванням для об'єктів промисловості й медицини, є актуальною.

Наукова новизна результатів дисертації. У роботі отримані такі наукові результати:

1. Вперше отримано аналітичні залежності вихідного сигналу приймача випромінювання тепловізора для точкових значень температури окремої ділянки поверхні об'єкту контролю для однорідних та неоднорідних

поверхонь об'єкта в реальних умовах проведення вимірювань, які відрізняються здатністю урахування дій зовнішніх впливних факторів.

2. Розвинуто метод вимірювання температури тепловізором на основі опрацювання вихідних сигналів кожного його приймача випромінення від «сірого випромінювача» й об'єкта дослідження в двох спектральних смугах, що дозволяє шляхом визначення значень впливних факторів автоматизувати процес їх врахування та підвищити точність результатів тепловізійних досліджень.

3. Вперше обґрунтовано застосування у якості еталонного засобу «сірого площинного випромінювача» для визначення за відбитим випроміненням коефіцієнта пропускання проміжного середовища і температури фону, та обґрунтовано вимоги до нього, що дало можливість реалізувати запропонований метод вимірювання температури.

4. Розвинуто метод калібрування тепловізора на місці експлуатації шляхом уточнення функції калібрування з урахуванням дії впливних факторів на вихідний сигнал приймача випромінення тепловізора, що дає змогу підвищити точність та забезпечити єдність вимірювання температури тепловізійного дослідження в робочих умовах.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях, їх апробація на конференціях та семінарах. Основні результати дисертаційної роботи відображено у 17 наукових працях, з яких 5 статей опубліковано у наукових фахових виданнях України, в тому числі 2 – у наукових періодичних виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз, 11 публікаціях апробаційного характеру у науково-технічних журналах та збірках праць науково-технічних конференцій, 1 з яких входить у наукометричну базу SCOPUS.

Зазначені публікації з достатньою повнотою відображають зміст дисертаційної роботи та її основні положення. Робота пройшла достатню апробацію: її основні наукові положення доповідались на 11 наукових конференціях, 1 з яких – закордонна.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність.

Обґрунтованість. Основні наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані у дисертації, мають теоретичну та експериментальну обґрунтованість, що підтверджується коректністю постановки і вирішенням завдань дослідження; використанням широко апробованих теоретичних та експериментальних методів, які базуються на сучасній теорії вимірювання, теорії оптичного випромінювання, зокрема термометрії за інфрачервоним випромінюванням; методах диференціального

та інтегрального числення; методах математичного та імітаційного моделювання.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, обумовлена їх широкою апробацією на національному та міжнародному рівнях, підтверджується збігом теоретичних викладів з результатами експериментальних досліджень.

Практична цінність отриманих у дисертації результатів полягає в тому, що вони надають можливість:

- проводити тепловізійні вимірювання температури за інфрачервоним випроміненням поверхні об'єктів за розробленим алгоритмом;
- проводити тепловізійні вимірювання з наперед заданим значенням невизначеності або вибирати такі умови проведення вимірювання, за яких невизначеність результатів не перевищуватиме встановлених значень, застосовуючи розроблену методику розрахунку цільової невизначеності;
- калібрувати тепловізор в робочих умовах на місці експлуатації з урахуванням дії впливних факторів у функції перетворення тепловізора, застосовуючи удосконалену методику калібрування тепловізора;
- реалізувати запропонований метод вимірювання температури й методику калібрування тепловізора на місці експлуатації для різних об'єктів та умов проведення тепловізійних вимірювань за рахунок запропонованих варіантів конструкції площинного «сірого випромінювача»;
- проводити якісне тепловізійне обстеження та кількісний тепловізійний аналіз будівель з раціональним використання коштів, застосовуючи розроблений проект стандарту «Методика тепловізійних досліджень будівель»;
- визначати грошовий еквівалент втрат теплоти у будівлі та оцінювати окупність робіт по усуненню джерел їх виникнення, застосовуючи розроблену методику розрахунку тепловтрат будинку за результатами тепловізійного дослідження;
- підвищувати точність результатів тепловізійних досліджень у медицині з урахуванням запропонованих рекомендації щодо умов і порядку їх організації;
- підвищувати рівень компетентності персоналу з проведення неруйнівного контролю з використанням тепловізійної техніки та підготовки персоналу до обов'язкової сертифікації за розробленою програмою навчання.

Теоретичні результати дисертаційної роботи використано при проведенні калібрування термометра випромінення, вимірюванні температури за допомогою тепловізора Raytek Ti20 на ТОВ СЦ «Харків-прилад», а також при проведенні навчального процесу кафедри метрології, стандартизації та

сертифікації Національного університету «Львівська політехніка», про що свідчать відповідні акти впровадження, наведені у Додатку Л.

Відповідність автореферату змісту дисертації. Автореферат в цілому написано у відповідності до існуючих вимог щодо авторефератів кандидатських дисертацій, містить всі необхідні складові. У ньому викладена основна суть проведених досліджень, наведені висновки та список основних публікацій. В цілому автореферат адекватно відображає всю дисертаційну роботу і містить основну сутність виконаних досліджень і отриманих результатів.

Зауваження по дисертаційній роботі

1. У назві роботи зазначено «... забезпечення вимірювання *розподілу* температури...», у той час, як вимірювання є процедурою порівняння розміру величини з одиницею, взятою для її порівняння, чого не можна сказати про таку категорію як *розподіл*.

2. Перший пункт наукової новизни пов'язаний з отриманням аналітичних виразів коефіцієнтів чутливості і являє собою завдання знаходження частинних похідних, що широко розглядається у математиці і не містить ознак наукової новизни.

3. При оцінюванні стандартної невизначеності за типом А не була розглянута гіпотеза щодо нормальності закону розподілу ймовірностей вхідних величин. У зв'язку з цим, та, враховуючи складність модельного рівняння, доцільним було б проведення оцінювання невизначеності за методом Монте-Карло.

4. При оцінюванні стандартної невизначеності вихідної величини не проведено аналіз щодо кореляції вхідних величин, що може спостерігатися для таких величин як вихідний сигнал (тепловий потік), випромінення поверхні, температура поверхні об'єкта. Зокрема, на стор. 61 наведено, що «... взаємна функціональна залежність температури та КВ об'єкта – оцінка значення одного параметра вимагає інформації про значення іншого». У такому разі сумарна невизначеність вихідної величини набуде інших значень, ніж наведено у роботі.

5. Наведені у роботі відомі формули (стор. 7 автореф.) для розрахунку стандартної невизначеності за типом А носять теоретичний характер та містять помилки (за таких формул знаходять стандартні невизначеності, а не дисперсії), і у роботі їх можна було б не наводити.

6. Наведена методика оцінювання невизначеності (розділ 2) являє собою оцінювання цільової невизначеності, а не невизначеності отриманого результату. Методика оцінювання невизначеності результату може містити тільки розрахунок невизначеності за температурою та градієнтом

температури як результату опосередкованого вимірювання, і не може бути застосована до вихідного сигналу, який не є результатом тепловізійних вимірювань, а характеризує властивості тепловізора (стор.65).

7. Спостерігаються деякі невідповідності наведеної інформації. Так, наведені у дисертації розрахунки складових невизначеності за формулами (2.26)...(2.28) названі «відносними непевностями», які такими не являються; значення їх розраховані за умови рівномірного закону розподілу, в той час як у бюджеті невизначеності (табл. Ж1 Додатку Ж) вони наведені як такі, що мають нормальний розподіл; на стор.107...108 результати моделювання наведено з відносними відхиленнями розрахованих та дійсних значень порядків 10^{-3} ... 10^{-7} , а у таблицях 3.5 та 3.6 ці значення складають порядки одиниць та десятків. Оскільки результатів за моделюванням не наведено, немає змоги перевірити правильність розрахунків відповідних відхилень.

8. У висновках наведено, що підвищено точність вимірювання «...більше, ніж у 10 разів для об'єктів промисловості та до 2 разів для об'єктів медицини у порівнянні з існуючою точністю вимірювань...», однак розрахунків для підтвердження такого висновку у дисертації не наведено, отже перевірити ці твердження не представляється можливим.

9. Не пояснено, як отримано значення відносних невизначеностей, за якими побудовано графіки, що наведені на рис.2.2...2.13 (в автореф. рис.1 а,б...рис. 3 а, б). Залишається не з'ясованим, за формулами сумарних чи розширених невизначеностей вони обчислені, оскільки у Додатку 3, табл.31 наведено тільки їх числові значення, а на осях відповідних рисунків позначені як розширені невизначеності, що застосовуються тільки при представленні кінцевого результату.

10. Нажаль, запропоновані варіанти конструкції еталонного засобу «площинне сіре тіло» не містять рекомендованих геометричних розмірів, та кількості конусів для забезпечення належного значення коефіцієнта випромінювання. Це придало б ваги запропонованим рішенням.

11. Відомо, що коефіцієнт випромінювання залежить від кута спостереження. За межами встановлених значень коефіцієнт випромінювання швидко зменшується до нуля при направленні спостереження по дотичній. Однак, ні у програмі підготовки фахівців, ні у методиці проведення досліджень не наголошено, як правильно виконувати спостереження, щоб не спотворити коефіцієнт випромінювання.

12. Надто детально сформульовано висновки по роботі, які мають відповідати поставленим завданням. Так, завдань сформульовано 7, а висновків – 12. Це не сприяє чіткому розумінню – що заплановано, а що зроблено. Наприклад, у висновках за п.п 6, 8, 10 заявлено, що

«...обґрунтовано вибір діапазонів робочих спектральних смуг тепловізора та їх розташування за принципом «смуга в смузі» залежно від об'єктів дослідження й оптимальність використання для цього багат шарових фільтрів на силіцієвій або германієвій основі»; «...розроблено варіанти конструкції та спосіб формування поверхні площинного сірого випромінювача для різних умов та об'єктів дослідження»; «...розроблено методику розрахунку тепловтрат, що дозволяє визначити грошовий еквівалент втрат теплоти та оцінити окупність робіт по усуненню джерел виникнення таких тепловтрат». Перелічені результати не передбачені поставленими завданнями. Так, методика розрахунку тепловтрат, що складає зміст підрозділу 4.3, займає 13 сторінок тексту і не заявлена у завданні, мала б бути наведена у Додатках, а не складати зміст цілого підрозділу.

13. У деяких випадках застосовані некоректні терміни та жаргонні вислови. Так, наприклад, наскрізь у роботі вживається поняття «непевність методу», (стор 1 автореф., 55, 61 дисерт.). з посиланням на нормативний документ VIM-3, який не передбачає такого поняття. Крім того, що термін *непевність* не стандартизований, поняття *метод* взагалі не містить характеристик точності. Міжнародний документ JCGM 100:2009 регламентує поняття *невизначеність, обумовлена методом*; у п. 4 завдань заявлено «Розробити метод визначення *впливних факторів – коефіцієнтів* випромінювання, пропускання проміжного середовища, фонового випромінювання...», у той час, як коефіцієнти факторами не являються; некоректний вираз *значення величини зміщення* (стор.49); наведено некоректні записи – *результат з точністю 10^{-6} °C* (стор.111), *точність VT ±2 % або ±2 °C* (стор.118), що суперечить дефініції поняття *точність*, як такого, що не має кількісного вираження.

14. Нумерація додатків та таблиць у них не відповідає стандарту ДСТУ 3008-95 та вимогам ДАК до оформлення дисертаційних робіт. Наприклад, не рекомендується позначати додатки літерами Г, Є, І, Ї, И, О. У роботі спостерігається Додаток Г, Таблиця 2Г, Додаток И, невірна нумерація рисунків у Додатку И.

Вказані недоліки хоча і зменшують загальну позитивну оцінку роботи, проте не впливають на достовірність, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

Рекомендації щодо використання результатів дисертації. Сучасні тепловізори використовуються в тих випадках, коли необхідний ретельний контроль за тепловим станом об'єктів і необхідно безконтактне вимірювання температури. Отримані результати можна рекомендувати розробникам тепловізійної техніки для створення тепловізорів за двоспектральним методом, створення моделей площинних «сірих випромінювачів» для

забезпечення додаткового калібрування тепловізора в умовах експлуатації, а також рекомендувати методику для встановлення границь цільової невизначеності результатів. Для користувачів тепловізорів при кількісному тепловізійному аналізі можна рекомендувати керуватися розробленим проектом стандарту «Методика тепловізійних досліджень будівель», а за методикою розрахунку тепловтрат будинку визначати грошовий еквівалент втрат теплоти у будівлі та оцінювати окупність робіт по усуненню джерел їх виникнення.

Оцінка змісту дисертації, відповідність встановленим вимогам до оформлення дисертацій. Робота написана на високому науково-професійному рівні, викладена логічно, послідовно із застосуванням загально прийнятої наукової термінології, добре ілюстрована і не перевантажена зайвим матеріалом. Стиль викладення матеріалів відповідає загальноприйнятому для наукових видань. Наукові положення, висновки та рекомендації викладено чітко, сприймаються однозначно. Оформлення дисертації та автореферату загалом відповідає вимогам стандартів ДСТУ 3008-95, ДСТУ ГОСТ 7.1:2006, ДСТУ 6095:2009, ДСТУ 7093:2009.

Оцінка дисертації в цілому. Дисертаційна робота Дзіковської Ю.М. складається з переліку умовних позначень та скорочень термінів, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел з 153 найменувань та 11 додатків. Основні результати викладено на 139 сторінках та містять у собі 32 ілюстрації, 13 таблиць.

Тематика та зміст дисертації повністю відповідають Паспорту спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення, за якою вона подана до захисту, і профілю спеціалізованої вченої ради Д 35.052.08

– як за формулою: «Галузь науки, яка вивчає створення, оптимізацію та вдосконалення нормативної бази та механізмів її застосування, методи та засоби до всіх галузей науки, техніки, народного господарства, а також ефективного метрологічного забезпечення єдності вимірювань та випробувань»,

– так і за напрямками досліджень: «Створення нормативної документації зі стандартизації, сертифікації та метрологічного забезпечення; створення нових та вдосконалення наявних засобів та методів оцінювання точності вимірювань; дослідження фізичних явищ для побудови еталонів і засобів вимірювань».

Слід відзначити кропітку роботу та ретельність здобувача при проведенні значного обсягу модельних експериментів з встановлення оцінок цільової невизначеності результатів вимірювання за значеннями окремих складових

невизначеності при різних значеннях впливних факторів та моделюванні реалізації запропонованого двосмугового методу вимірювання температури.

Висновки. На підставі вищенаведеного вважаю, що дисертаційна робота Дзіковської Юлії Миколаївни є завершеною науковою працею, що містить вирішення актуального науково-практичного завдання, в якому наведено результати досліджень від формулювання мети і задач до практичного їх використання та відповідає рівню вимог, які висувуються до наукових робіт, що подаються на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

За актуальністю, науковим рівнем, належним теоретичним обґрунтуванням, значним обсягом виконаних досліджень, ступенем апробації та впровадженням результатів дисертація Дзіковської Юлії Миколаївни «Нормативно-технічне забезпечення вимірювань розподілу температури теплового поля об'єктів промисловості та медицини», задовольняє вимогам пп. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 щодо кандидатських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Офіційний опонент,
професор кафедри біокібернетики та
аерокосмічної медицини навчально-наукового
інституту інформаційно-діагностичних систем
Національного авіаційного університету
МОН України,
д-р техн. наук, професор



Л.О. Кошева



Підпис гр.

Кошевої Л.О.

з а с в і д ч у ю

Вчений секретар

Національного авіаційного університету

Л.О. Кошева