

ВІДГУК

офіційного опонента кандидата технічних наук, доцента Паракуди Василя Васильовича на дисертацію Кривенчука Юрія Павловича „Вимірювання температури за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла”, представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин

Дисертація Кривенчука Ю.П. присвячена вирішенню важливої науково-прикладної задачі – підвищенню точності вимірювань температури за застосуванням методу комбінаційного розсіювання світла для вимірювання температури малорозмірних об'єктів.

Актуальність теми дисертації. Потреба в вимірюванні температури постає в процесі реалізації різного роду досліджень, як фундаментальних, так і прикладних. При цьому опосередковано може здійснюватися контроль різноманітних фізичних величин, зокрема, тиску, при відомій залежності цієї величини від зміни температури. На сьогодні активно продовжується процес мініатюризації елементної бази електронних виробів. В процесі їх виготовлення важливим параметром контролю є температура. Контактні методи вимірювання температури в таких технологічних процесах мало придатні, оскільки значно змінюють температурне поле досліджуваного об'єкту за рахунок тепловідводу через контакт первинного перетворювача та об'єкту вимірювання. Пірометричні методи позбавлені цього недоліку. Однак, пірометричні засоби, відкалібровані за абсолютно чорним тілом, при вимірюванні температури реального об'єкту, також мають значну методичну похибку. Тому актуальним є пошук нових методів та засобів вимірювання температури малих об'єктів. Одним із можливих способів вирішення цієї проблеми є використання методу комбінаційного розсіювання світла.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій та їх достовірність. В дисертації розглядається важлива і актуальна науково-прикладна задача підвищення точності шляхом мінімізації похибки вимірювання температури мікрооб'єктів за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла, а також похідні від неї задачі розроблення відповідних

методів та алгоритмів з застосуванням прикладного програмування для автоматизації процесу вимірювання з метою мінімізації похибки вимірювання.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація за структурою складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних джерел літератури та додатків. Робота викладена на 134 сторінках друкованого тексту, містить 49 рисунків та 14 таблиць. Перелік використаних джерел містить 161 найменування.

У **вступі** висвітлено актуальність задачі, мету і завдання дослідження, наукову новизну отриманих результатів і їх практичну цінність, а також відомості про особистий внесок здобувача, показаний зв'язок роботи з науковими планами і програмами.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану методів та засобів вимірювання температури у технологічних процесах, огляд промислових моделей термометрів, аналіз похибок вимірювання температури, стану вимірювань температури об'єктів малих розмірів. Встановлено домінуюче значення методичної похибки вимірювання температури. Виявлені впливаючі чинники. Встановлено, що існуючі методи вимірювання температури характеризуються низкою недоліків та обмежень.

На основі проведених досліджень сформульовані основні задачі дисертаційної роботи.

У **другому розділі** розроблено методику та структурну схему засобу вимірювання температури на основі комбінаційного розсіювання. Синтезовано програмно-математичні моделі спектру комбінаційного розсіювання світла прямокутної, трикутної, пилкоподібної та трапецієподібної форми, а також моделі функції перетворення оптичних елементів. Проведено дослідження залежності еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла від інтенсивності лазерного випромінювання. Проведено дослідження залежності середньо квадратичного відхилення еквівалентної частоти спектру прямокутної форми від роздільної здатності спектроаналізатора за частотою. Досліджено вплив випадкової, лінійної, нелінійної та сумарної похибки функції перетворення елементів

оптичної схеми на результат визначення еквівалентної частоти спектру. На основі отриманих залежностей оптимізовано вимоги до роздільної здатності спектроаналізатора за частотою.

Третій розділ присвячений дослідженню температурної залежності еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла. Представлено результати експериментальних досліджень температурної залежності, зокрема, для H_2O , Al_2O_3 , C_6H_{12} , C_{10}H_8 та гуми у діапазоні температур від 18°C до 70°C із кроком 1°C . На основі проведених теоретичних досліджень синтезовано уставу для вимірювання температури з використанням оптичної схеми з режекторним фільтром. Визначено залежність середнього значення еквівалентної частоти комбінаційного розсіювання світла від температури для кожного з досліджуваних об'єктів, на їх основі отримано інтерполяційні вирази які описують залежність еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла від температури для п'яти досліджуваних об'єктів. Досліджено залежність непевності визначення температури від непевності знаходження еквівалентної частоти.

У четвертому розділі розглянуто питання градуювання засобу вимірювання температури, побудованого на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла. Запропоновано методи та структурні схеми устав для градуювання засобу вимірювання температури, побудованого на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла за температурою та за спектром. Встановлено оптимальну кількість точок градуювання засобу вимірювання температури для кожного з отриманих інтерполяційних виразів за критерієм мінімальної похибки апроксимації. Отримано залежність непевності визначення квадрату модуля комплексної частотної характеристики вторинного кола оптичної схеми від зміни комплексних частотних характеристик спектроаналізатора, послаблюючого елементу та спектру галогенної лампи за час градуювання, що дозволяє встановити вимоги до їх стабільності.

У додатках містяться таблиці результатів експериментальних досліджень, зразки програмних моделей залежностей непевності визначення

еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла, акти про впровадження результатів дисертаційної роботи.

Наукова новизна та обґрунтованість наукових положень. При виконанні поставлених завдань були отримані наступні наукові результати.

1. Вперше синтезовано програмні моделі антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла, проведені теоретичні дослідження метрологічних характеристик засобів вимірювання температури, побудованих на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла.

2. Вперше отримано залежності непевності визначення температури від непевності визначення еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла за зсувом частоти для різних матеріалів, що дозволило сформулювати вимоги до непевності визначення еквівалентної частоти спектру за заданої непевності вимірювання температури.

3. Вперше отримано залежність непевності визначення еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла від роздільної здатності спектроаналізатора, запропоновано метод визначення еквівалентної частоти спектру із врахуванням випадкової, лінійної та нелінійної похибок елементів оптичного кола, що дозволяє оптимізувати параметри вхідного кола засобу вимірювання температури, побудованого на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла, та вимоги до роздільної здатності за частотою спектроаналізатора.

4. Удосконалено програмні моделі функцій перетворення оптичних елементів та оптичних схем, які дозволяють спростити теоретичні дослідження метрологічних характеристик засобів вимірювання температури, побудованих на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла.

Практична цінність отриманих результатів. Проведені дослідження дозволили отримати експериментальне підтвердження застосування методу комбінаційного розсіювання світла для вимірювання температури об'єктів малих розмірів. Отримані інтерполяційні вирази температурної залежності еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла для різних матеріалів.

Результати роботи впроваджені у виробництво у ПАТ НВО «Термоприлад», (м. Львів).

Отримані в роботі наукові результати використовують в навчальному процесі кафедри «Інформаційно-вимірвальні технології» Національного університету «Львівська політехніка».

Наведене вище підтверджує практичну цінність роботи.

Повнота викладу змісту дисертації в опублікованих працях. За тематикою дисертаційної роботи опубліковано 17 наукових праць, серед яких 8 статей у наукових журналах та збірниках наукових праць, а три з них в наукометричних виданнях. Наукові положення і результати дисертаційних досліджень оприлюднені на 8 науково-технічних конференціях.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, що встановлені МОН України до авторефератів.

Недоліками автореферату та дисертаційної роботи є наступне:

1. В авторефераті не всюди вказуються характеристики точності результатів експериментальних досліджень відповідно до ст. 10 Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність», вимог чинних в Україні нормативних документів, зокрема, МИ 2083 Вимірювання опосередковані. Визначення результатів вимірювання і оцінювання їх похибки), у тому числі:
 - не подані конкретні характеристики точності або невизначеності результату вимірювання: оцінка СКВ випадкової складової результату вимірювання; довірчі границі НСП або границі похибки;
 - не подається значення довірчої ймовірності.
2. Не чітко сформульовані п. 3 та п. 4 наукової новизни одержаних результатів.
3. Не достатньо описано і обґрунтовано вибір елементної бази устав для градування засобу вимірювання температури.
4. Автор стверджує, що похибки лазера і спектроаналізатора є складовими похибки результату вимірювання температури без належної оцінки цих похибок.

5. В роботі не достатньо розглянуто залежність значення температури об'єкта, яке визначається за розсіюваним світлом, від ступеня відбивання лазерного випромінення для матеріалів поверхонь різної природи.
5. Довільно і без достатнього обґрунтування вживається не стандартизований термін „непевність” результату вимірювання.
6. В авторефераті та дисертаційній роботі є ряд пунктуаційних огрехів, допущені помилки набору тексту, зокрема, в авторефераті на с. 9, рядок 2; с. 13, рядок 5.

Однак, відзначені недоліки не знижують наукової і практичної цінності отриманих результатів.

Оцінка дисертації в цілому і висновки. Дисертаційна робота Кривенчука Юрія Павловича «Вимірювання температури за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла» є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати в області метрології та інформаційно-вимірювальних систем, що в сукупності забезпечили розв'язання актуальної науково-прикладної задачі – вимірювання температури об'єктів малих розмірів.

Вважаю, що проведені дослідження є актуальними. За своїм змістом, отриманими результатами, науковою новизною та практичною цінністю дисертаційна робота Кривенчука Юрія Павловича повністю відповідає вимогам МОН України згідно з п. 9, 11 “Порядку присудження наукових ступенів”, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 щодо дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, а її автор заслуговує присвоєння наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин.

Офіційний опонент:

Директор Державного підприємства
«Науково-дослідний інститут метрології,
вимірювальних і управляючих систем»,
кандидат технічних наук, доцент



Паракуда В.В.

17.03.17р.