

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертацію Погорелова Станіслава Вікторовича «ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ ТОНКОДРОТЯНИХ РЕШТОК БОЛОМЕТРІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ПОТУЖНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ» на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем

### Актуальність теми дисертації.

Дисертація Погорелова С.В. присвячена розв'язанню однієї з дуже важливих і важких задач – вимірюванні енергетичних характеристик випромінювання потужних лазерів з великими розмірами поперечного перерізу пучків. Такі лазери (технологічні лазери) вже давно використовуються для обробки деталей до великогабаритних виробів – різання, свердління металевих плит, обробки їх поверхні тощо. Є повідомлення про успішні випробування потужних лазерів в військовій техніці. Перші з цих лазерів мають потужність від декількох сотень ват до десятків кіловат і поперечний розмір пучків від 1 до 100 мм. Потужність других досягає декількох мегават у квазинеперервному режимі (тривалість генерації до декількох хвилин), поперечний розмір пучків може бути до 1 м і більше.

**Актуальність і важливість проблеми**, з вирішенням якої пов'язана дисертація Погорелова С.В., полягає в тому, що існуючі зараз вимірювальні прилади перебивають далеко не весь необхідний спектральний і динамічний діапазони, де працюють такі лазери.

Для технологічних лазерів є достатня кількість приладів для вимірювання потужності, енергії імпульсу, параметрів імпульсу, профіля пучка випромінювання, розроблених фірмами Ophir-Spiricon, Primes, Prometec та ін. В той же час майже відсутні прилади для контролю стану поляризації випромінювання.

Приладів для вимірювання випромінювання лазерів другої групи набагато менше. Відомості про них з'являються не в каталогах фірм-виробників, а в журнальних статтях і електронних засобах інформації. Серед вітчизняних розробок виділяються роботи Кузьмичова В.М., який запропонував метод вимірювання енергетичних характеристик потужних лазерів за допомогою дротяних болометричних решіток. Вони можуть застосовуватись в широких пучках, мало поглинають енергії, малоінерційні, можуть застосовуватись в інфрачервоній області спектру, де працюють потужні лазери. Але ці прилади треба калібрувати за допомо-



гою інших приладів, що створювало великі труднощі при поперечних розмірах пучка в декілька десятків сантиметрів і більше.

### **Наукова новизна результатів дисертаційної роботи.**

Можна сформулювати два основних тези, які відображають найважливіші нові наукові результати, які отримані у роботі:

1. розроблені методи абсолютного градування широкоапертурних приладів без застосувань сторонніх зразкових засобів вимірювань.
2. розроблені методи вимірювання болOMETричними приладами параметрів поляризації випромінювання, в яких з результатів вимірювань виключаються систематичні похибки за рахунок нелінійності характеристики перетворення.

Для отримання цих результатів у ході роботи були отримані також важливі проміжні наукові результати. Так, проведені дослідження факторів ефективності поглинання та отримані їх температурні залежності; проведений аналіз характеристик перетворення болOMETричних вимірювачів та визначені основні чинники, які призводять до виникнення її нелінійності. Вперше запропоновані методи вимірювання параметрів гаусових імпульсів дуже потужного лазерного випромінювання.

### **Обґрунтованість і достовірність результатів**

Результати роботи є обґрунтованими та достовірними, що підтверджується застосуванням відомих числових методів, а також постійними порівняннями теоретичних положень з проведеними автором експериментами або числовими моделями. Для вирішення поставлених задач Погорелов С.В. в дисертації розв'язав фізичні задачі, пов'язані з взаємодією лазерного випромінювання з приймальним елементом приладу, дослідив теплові процеси в тонких дротинках, застосував одержані результати при побудові приладів і провів необхідний метрологічний аналіз.

### **Аналіз змісту та структури дисертації.**

Дисертаційна робота викладена на 302 сторінках і складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел та додатку А, в якому наведені роботи автора за темою дисертації. Структура та обсяг дисертації відповідають вимогам МОН України щодо дисертацій на здобуття ступеня доктора наук за природничими спеціальностями.

В анотації коротко представлені основні нові наукові результати роботи, наведений список робіт автора за темою дисертації.

У вступі обґрунтовується актуальність роботи; показаний зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами; визначені мета і завдання дисертації, об'єкт, предмет та методи дослідження; наведені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів та особистий внесок здобувача.

В **розділі 1** проведено огляд типів потужних лазерів і засобів вимірювання їх енергетичних характеристик. Зроблено висновок про перспективність решіткових болометрів і визначені напрямки необхідних досліджень для обґрунтування методів вимірювань.

Основне завдання, яке розв'язується в **розділі 2**, - це визначення температурних залежностей теплофізичних параметрів тонкодротяних болометрів під дією лазерного випромінювання. Це необхідні дослідження, тому що болометри можуть нагріватись до температури, близької до температури плавлення.

Зроблено висновок, що найбільш підходящий матеріал для болометрів – це платина. Її характеристики стабільні в часі, вона мало піддається корозії, має високу температуру плавлення.

Вперше проведено вимірювання фактора ефективності поглинання болометрів в близькому інфрачервоному діапазоні і його залежність від температури. Експеримент проводився при довжині хвилі випромінювання 1,06 мкм. Було встановлено, що значення цього параметра зменшується при зростанні температури.

В **розділі 3** дисертації розглядаються теплові процеси в болометрі при дії на нього лазерного випромінювання. Розв'язується задача про врахування нерівномірності нагрівання болометра пучком випромінювання, профіль якого невідомий. Деяке спрощення задачі полягає в тому, що необхідно знайти не розподіл температури по довжині болометра, а її середнє значення. Але навіть при такому спрощенні – це складна задача. В дисертації вона успішно розв'язана при введенні нового параметра - коефіцієнта нерівномірності розподілу інтенсивності в пучку випромінювання. Таким чином була знайдена можливість оцінки похибки, яка з'являється при зміні профілю пучка випромінювання, і мінімізації цієї похибки.

Отримані результати дозволили провести розрахунки характеристик перетворення одиночних болометрів, а також апроксимувати їх для отримання функціональної залежності характеристики перетворення від енергетичного параметра.

В **розділі 4** розглянуті методи вимірювання параметрів лінійної та еліптичної поляризації випромінювання болометричними вимірювачами. При великих поперечних розмірах пучка випромінювання і спектральному діапазоні в середній інфрачервоній області спектру традиційні методи вимірювання не можуть бути

використані. Тому розробка методів вимірювання, які можуть бути тут застосовані, є важливою задачею.

Обґрунтовано і досліджено декілька методів – за допомогою трьох болометричних решіток, двох ортогональних решіток і двох неортогональних решіток. Ці методи досліджені теоретично, перевірені експериментально та проведений аналіз похибок результатів вимірювання.

Додатковий позитивний ефект цих досліджень – це те, що результати вимірювання параметрів поляризації враховуються при вимірюваннях потужності випромінювання, оскільки сигнал з решіткового вимірювального перетворювача залежить від стану поляризації падаючого на нього випромінювання.

В **розділі 5** розглянуті і вирішенні питання градування решіткових болометричних приладів для вимірювання потужності неперервного випромінювання і енергії імпульсу. Розв'язання цієї задачі дозволяє створити прилади для абсолютних вимірювань потужності і енергії імпульсу випромінювання лазерів з дуже великими рівнями потужності і енергії імпульсу з великими поперечними розмірами пучків випромінювання. Завдяки введенню параметра – нерівномірності розподілу інтенсивності в пучку – стало можливим оцінити похибку вимірювань, що виникає за рахунок цього фактора, при будь-якому профілю пучка. Запропонований алгоритм обробки сигналів решіткових болометрів дозволив виключити з результатів вимірювань систематичні похибки, які з'являються за рахунок нелінійності характеристики перетворення, враховуючи поляризаційні характеристики випромінювання.

**Розділ 6** розглядає питання, які знаходяться декілька осторонь від тих, які були розглянуті раніше. Це питання вимірювання за допомогою окремих дротяних болометрів поперечних розмірів сфокусованих лазерних пучків. Експерименти були проведені з застосуванням пучків випромінювання гелій-неонових лазерів з потужністю випромінювання декілька міліват. Але показано, що результати цих досліджень можуть бути застосовані і при вимірюваннях в широких пучках випромінювання з великою інтенсивністю. При гаусовому профілю пучка для вимірювання його середньо-квадратичного радіусу болометри можна розташувати на краях пучка, де інтенсивність випромінювання менша, ніж в центрі пучка, і тому збільшити верхню границю вимірювань.

Загальні **висновки** по дисертації відповідають її змісту, конкретно і стисло висвітлюють основні наукові результати. Загалом можна зазначити, що дисертація є закінченою науковою роботою, в якій отримані нові наукові результати, що мають теоретичну та практичну цінність.

**Практична цінність результатів роботи** полягає в тому, що розроблені автором методи дозволять більш ефективно та більш точно проводити вимірювання параметрів потужних і, в тому числі, широкоапертурних лазерних пучків, завдяки тому, що вони не використовують додаткові пристрої. Одночасно з вимірюванням енергетичних параметрів тонкодротяні вимірювачі здатні проводити контроль параметрів поляризації лазерного випромінювання, причому не заважаючи технологічному процесу.

Таким чином, в дисертації Погорєлова С.В. обґрунтовано метод вимірювання енергетичних характеристик потужного широкоапертурного лазерного випромінювання болометричними решітчастими приладами. Це великий внесок в розв'язання проблеми контролю і управління випромінюванням технологічних лазерів і лазерів особливого призначення.

**Опубліковані праці здобувача повною** мірою відображають результати досліджень. За результатами роботи автором опубліковано 52 наукові роботи, основні наукові положення пройшли апробацію на 15 міжнародних конференціях. Автор є співавтором 6 патентів, з яких 1 патент на винахід та 5 патентів на корисну модель. Наприкінці кожного розділу дисертації наведений список публікацій, результати яких приведені у розділі. Аналіз цих публікацій доводить повноту висвітлення у публікаціях результатів, які увійшли до дисертації.

В авторефераті дисертації повністю відображені основні наукові положення, які виносяться на захист. Вони повністю відповідають тим, що наведені у дисертації. Зміст та структура автореферату відповідають вимогам щодо підготовки та оформлення авторефератів.

#### **Зауваження щодо змісту дисертації:**

1. В дисертації не визначені умови використання рівняння теплового балансу.
2. Експеримент з перевірки методу вимірювання параметрів гусового пучка болометрами, розташованими на периферії пучка, на пучках великої інтенсивності і великих поперечних розмірів міг би прикрасити дисертацію.
3. У підрозділі 1.6 проведений огляд готових вимірювальних систем. Вважаю, що цей підрозділ не зовсім відповідає напрямку досліджень, тому як в роботі досліджується первинний вимірювальний перетворювач, а не готовий для реалізації продукт.
4. На рис.1.12 представлені широкоапертурні датчики РМ5К-200 та РМ5К-100, розмір апертури яких 200 та 100 мм відповідно. З огляду незрозуміло чим болометричні решітки переважають такі датчики при вимірюванні параметрів широкоапертурних пучків.

5. На стор.103 при введенні формули 2.12 пропущений сполучник «і».
6. У висновках дисертації після номера 8 йде номер 4, 5, 6, а потім номер 9,10.

## ВИСНОВКИ

Наведені зауваження не змінюють загальну оцінку дисертації як завершеної роботи, в якій приведені розв'язання актуальної наукової проблеми - розробки методів вимірювань параметрів потужних та широкоапертурних лазерних пучків.

Таким чином дисертація Погорелова Станіслава Вікторовича є структурованою, цілісною, завершеною науково-дослідною роботою, а отримані в ній результати вирішують задачу вимірювання енергетичних, просторових та поляризаційних параметрів потужних лазерів. Оформлення дисертації і автореферату в цілому відповідає діючим нормативним документам. Представлена дисертаційна робота відповідає вимогам, що висуваються до докторських дисертацій згідно з п.п. 9, 10,12 "Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника", затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор, Погорелов Станіслав Вікторович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 01.04.01 – фізика приладів, елементів і систем.

Завідувач кафедри фотоніки та лазерної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки  
МОН України, д.т.н., професор

Ю.П. Мачехін

*Учений*

*екс-рктар*



*У.В. Магарица*