

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІЙ ПЕРЕТВОРЕННЯ ОПТИЧНИХ СХЕМ ЗАСОБУ ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ, ПОБУДОВАНОГО НА ЕФЕКТІ РАМАНА ТА СТРУКТУРА АЛГОРИТМУ ЇХ ДОСЛІДЖЕННЯ

Кривенчук Ю. П. – канд. техн. наук, асистент кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна.

Шаховська Н. Б. – д-р техн. наук, професор, професор кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна.

Вовк О. Б. – канд. техн. наук, доцент кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна.

Мельникова Н. І. – канд. техн. наук, старший викладач кафедри систем штучного інтелекту Національного університету «Львівська політехніка», Львів, Україна.

АНОТАЦІЯ

Актуальність. В процесі вимірювання температури за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла, виникає проблема визначення еквівалентної частоти спектру. Це проявляється внаслідок проходження відбитого випромінювання через оптичні елементи, яке спотворюється похибками комплексних частотних характеристик цих елементів. Неточне визначення еквівалентної частоти тягне за собою велику похибку визначення температури. Тому актуальним є синтез програмних моделей оптичних елементів оптичних схем, а також спектру комбінаційного розсіювання світла для подальших їх досліджень.

Мета роботи – синтез моделей елементів оптичних схем та спектрів комбінаційного розсіювання світла для подальшого дослідження оптичних елементів та оптичних кіл.

Метод. Останнім часом широко застосовуються різноманітні виробниці та сенсори, розроблені на базі мікро- та наноструктурованих матеріалів. Розроблено цілу низку компонентів електронної техніки, які в сотні разів є меншими за своїх попередників. В процесі виготовлення таких мініатюрних компонентів електронної техніки, необхідно докладно контролювати температуру. Характеристики існуючих засобів вимірювань не цілком задовольняють цим вимогам. Одним із перспективних напрямків для вирішення цієї проблеми є застосування методу комбінаційного розсіювання світла. В межах методу комбінаційного розсіювання світла відомо два способи визначення температури: перший за відношенням інтегральної площі стоксової компоненти спектру до антистоксової, другий за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла. Другий спосіб має кращу швидкодію, що перевищує перший більше як в 2 рази, оскільки потрібно визначати тільки антистоксову компоненту спектру. Також даний спосіб має меншу методичну похибку, яка виникає за рахунок перегріву досліджуваного об'єкту лазером. Тому було обрано даний метод та спосіб для подальших досліджень.

Результати. Синтезовано комп'ютерні моделі оптичних елементів та оптичних схем, а також спектри комбінаційного розсіювання світла. Запропоновано два методи визначення значення еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла.

Висновки. Проведені дослідження показали, що первинне коло оптичної схеми не вносить похибки в результат вимірювання температури за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла. Доведено доцільність проведення дослідження вторинного кола оптичної схеми.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: вимірювання температури, спектри комбінаційного розсіювання світла, Раманівський термометр.

АБРЕВІАТУРИ

КРС – комбінаційне розсіювання світла;

ЕЧАКС – еквівалентна частота антистоксової компоненти спектру.

НОМЕНКЛАТУРА

$D_{\text{вмм}}[j]$ – дисперсія ЕЧАКС КРС, знайдена медіанним методом;

$D_{\text{вцм}}[j]$ – дисперсія ЕЧАКС КРС, знайдена методом центру мас;

$H_{\text{ос}}(\nu)$ – комплексна частотна характеристик оптичної схеми;

$I_{\text{вих}}(\nu)$ – вихідний спектр;

$I_{\text{вх}}(\nu)$ – вхідний спектр, що потрапляє на вторинне коло оптичної схеми;

$Krok_{\nu}$ – роздільна здатність за частотою спектроаналізатора;

$m_{\text{вмм}}[j]$ – математичне сподівання ЕЧАКС КРС, знайдено медіанним методом;

$m_{\text{вцм}}[j]$ – математичне сподівання ЕЧАКС КРС, знайдено методом центру мас;

N_{ν} – кількість значень роздільної здатності за частотою;

$N_{\text{ген}}$ – кількість випадково генерованих спектрів КРС;

P – потужність лазерного випромінювання;

t – час вимірювання;

$u_{\text{вмм}}$ – непевність визначення ЕЧАКС КРС, знайдено медіанним методом;

$u_{\text{вцм}}$ – непевність визначення ЕЧАКС КРС, знайдено методом центру мас;

ν – крок за роздільною здатністю до частоти;

ν_{max} – максимальне значення роздільної здатності;

ν_{min} – мінімальне значення роздільної здатності;

$\nu_{\text{вмм}}[i]$ – ЕЧАКС КРС, знайдено медіанним методом;

$\nu_{\text{вцм}}[i]$ – ЕЧАКС КРС знайдено за методом центру мас;

$\Delta\nu$ – роздільні здатності для дослідження;
 $\delta_{\text{вк}}$ – відносна похибка вторинного оптичного кола;
 $\delta_{\text{л}}$ – відносна частотна похибка лазера;
 $\delta_{\text{м}}$ – відносна методична похибка;
 $\delta_{\text{ок}}$ – відносна похибка первинного оптичного кола;
 $\delta_{\text{са}}$ – відносна похибка спектроаналізатора;
 δT – відносна похибка вимірювання температури
методом комбінаційного розсіювання світла;
 $\sigma_{\text{вмм}} [j]$ – середньо квадратичне відхилення ЕЧАКС
КРС, знайдене медіанним методом;
 $\sigma_{\text{вчм}} [j]$ – середньо квадратичне відхилення ЕЧАКС
КРС, знайдене методом центру мас.

ВСТУП

Стрімкий розвиток нанотехнологій характеризується створенням нових матеріалів, мікро- та наноструктурованих об'єктів, які знаходять широке застосування у різних галузях науки, техніки і промисловості. Для належного перебігу технологічного процесу при виготовленні таких матеріалів необхідно забезпечити вимірювання та жорсткий контроль температури. При цьому зрозуміло, що до засобів вимірювання температури таких об'єктів ставляться високі метрологічні та експлуатаційні вимоги.

Реалізація процесу коректного вимірювання температури для кожного конкретного випадку вимагає докладного аналізу умов теплової взаємодії системи об'єкт-термометр. В більшості випадків під час вимірювання температури однозначно змінюється теплова картина досліджуваного об'єкту. Тому необхідним є проведення оцінки недоліків та переваг методів та засобів вимірювання температури, для визначення найбільш оптимальних методів вимірювання температури об'єктів малих розмірів.

Метою дослідження є синтез моделей елементів оптичних схем та спектрів комбінаційного розсіювання світла їх для подальшого дослідження.

Об'єктом дослідження є передавальна характеристика спектру комбінаційного розсіювання світла через оптичні елементи.

Процесом дослідження є синтез моделей спектрів комбінаційного розсіювання світла та оптичних елементів оптичних схем з метою визначення найменшої похибки передавальної характеристики та встановлення найкращого методу визначення еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Як відомо, усі контактні методи спотворюють температурне поле, як наслідок їх не можна застосувати до термометрування мікро- та наноструктурованих об'єктів. Серед відомих безконтактних методів одним з найбільш підходящих методів є пірометричний та метод комбінаційного розсіювання світла. Проте, пірометричний метод має суттєвий недолік: невідомий коефіцієнт випромінюючої здатності кожного об'єкту, що тягне за собою досить велику методичну похибку

вимірювання температури. Метод комбінаційного розсіювання світла позбавлений такого недоліку, також вагомою перевагою методу є те, що товщина лазерного променя є досить невеликою, що дає можливість сфокусувати його на найменші об'єкти дослідження. Враховуючи результати проведеного аналізу, для вимірювання температури об'єктів малих розмірів оптимальним є застосування методу комбінаційного розсіювання світла.

Вхідними даними є передавальні характеристики оптичних елементів та їх вплив на похибку визначення еквівалентної частоти спектру комбінаційного розсіювання світла.

Вихідними параметрами є значення температури, а також похибка з якою вона може бути визначеною.

2 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

В Україні і за кордоном останнім часом широко застосовуються різноманітні вироби та сенсори, розроблені на базі мікро- та наноструктурованих матеріалів. Розроблено цілу низку компонентів електронної техніки, які є в сотні разів меншими за своїх попередників. У процесі виготовлення таких мініатюрних компонентів електронної техніки необхідно докладно контролювати температуру. Характеристики існуючих засобів вимірювань не цілком задовольняють цим вимогам [1–4]. Одним із перспективних напрямків для вирішення проблеми такого типу є застосування методу комбінаційного розсіювання світла за зсувом частоти [5–7].

Основою методу стало комбінаційне розсіювання. Його суть полягає в тому, що при взаємодії з середовищем розсіяння світлова хвиля модулюється молекулярними коливаннями середовища, що призводить до появи в розсіяному випромінюванні нових довжин хвиль. У зарубіжній науковій літературі комбінаційне розсіювання носить назву ефекту Рамана, а дослідження з використанням комбінаційного розсіювання називають Раманівською спектроскопією [5, 6].

Такий же підхід використано і в MEMS [7]. У [8] використано молекулярні давачі. Проте використання технологій штучного інтелекту для контролю та аналізу замірів значно підвищує цінність методів та засобів вимірювання температури у лабораторних умовах, а також уможливорює в подальшому використання в літальних апаратах для наземного спостереження.

Проведений аналіз [9] показав що, для розроблення засобу вимірювання температури на основі методу комбінаційного розсіювання світла оптимальним є застосування способу, який ґрунтується на температурній залежності частоти комбінаційного розсіювання світла. Це дає змогу покращити метрологічні характеристики засобів вимірювання температури та зменшити час вимірювання. Отже, розроблення апаратно-програмних засобів вимірювання температури на основі методу комбінаційного розсіювання світла є актуальною задачею.

3 МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Структурна схема засобу вимірювання температури за зсувом частоти КРС (рис. 1), складається з лазера, оптичної схеми та спектроаналізатора. Оптична схема умовно поділяється на дві частини: первинне коло (оптичні елементи, які розташовані до досліджуваного об'єкту) та вторинне коло (оптичні елементи, які розташовані після досліджуваного об'єкту).

Гранична похибка вимірювання температури таким засобом становить:

$$\delta T = \delta_M + \delta_L + \delta_{НК} + \delta_{ВК} + \delta_{са} \quad (1)$$

У табл. 1 наведено основні метрологічні характеристики спектроаналізаторів, а у табл. 2 – технічні характеристики лазерів.

За результатами досліджень мінімальна похибка спектроаналізатора становить 0,01%, а похибка лазера – 0,00003%. Методична похибка була досліджена в роботі [1]. Також спираючись на дану роботу досліджено залежність методичної похибки від часу вимірювання (рис. 2) та залежність методичної похибки від потужності лазера та тривалості вимірювання представлено на рис. 2.

Таблиця 1 – Метрологічні характеристики спектроаналізаторів

| Назва приладу | Спектральний діапазон вимірювання | Відносна похибка | Ціна, грн. |
|------------------|-----------------------------------|------------------|------------|
| MS 3501i | 267–800 нм | 0,5% | 405 000 |
| EnSpectr R532 | 400–528 нм | 0,02% | 1 320 000 |
| X-Rite Color i 7 | 360–750 нм | 0,01% | 16 890 000 |

Таблиця 2 – Метрологічні характеристики лазерів

| Назва лазера | Потужність | Частота | Відносна похибка за частотою |
|-----------------------|------------|----------|------------------------------|
| HeNe-Laser G040813000 | 15 мВт | 632,8 нм | 0,00008 % |
| HeNe-Laser G040809000 | 10 мВт | 632,8 нм | 0,00003 % |
| HeNe-Laser G040801000 | 0,6 мВт | 632,8 нм | 0,00015 % |
| HeNe-Laser G040807000 | 5 мВт | 632,8 нм | 0,00003 % |

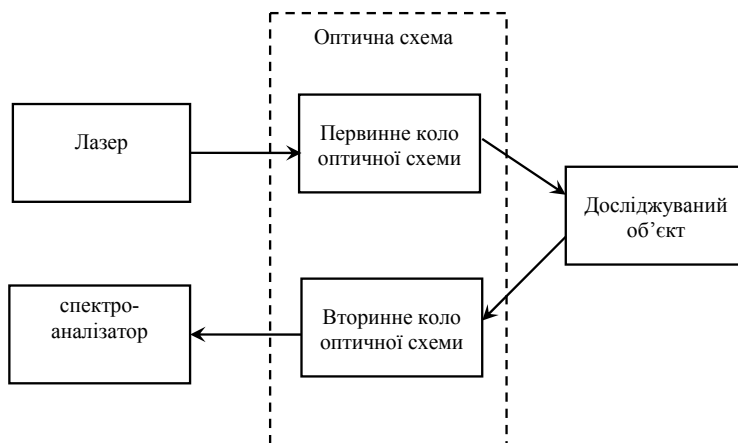


Рисунок 1 – Структурна схема засобу вимірювання температури на основі комбінаційного розсіювання світла

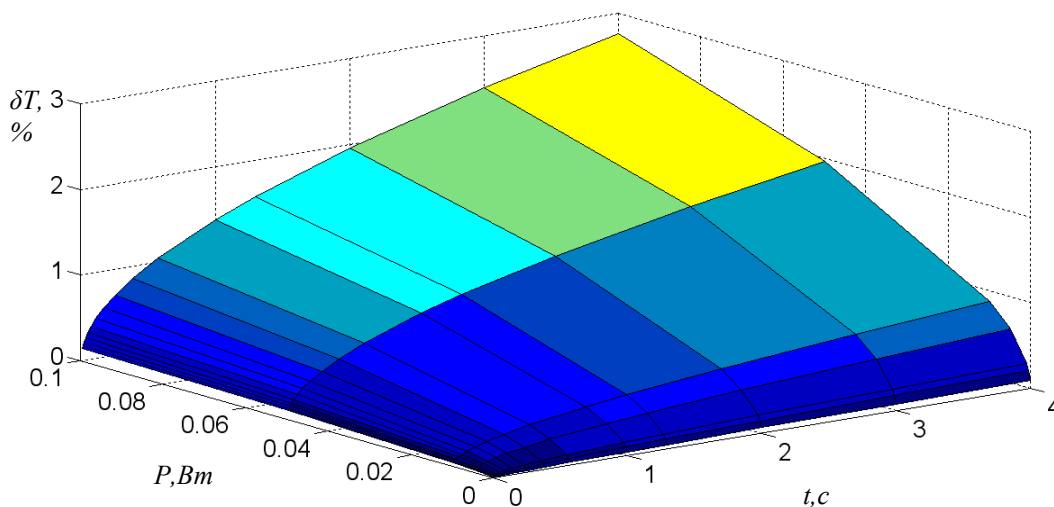


Рисунок 2 – Залежність методичної похибки від потужності лазера та тривалості вимірювання

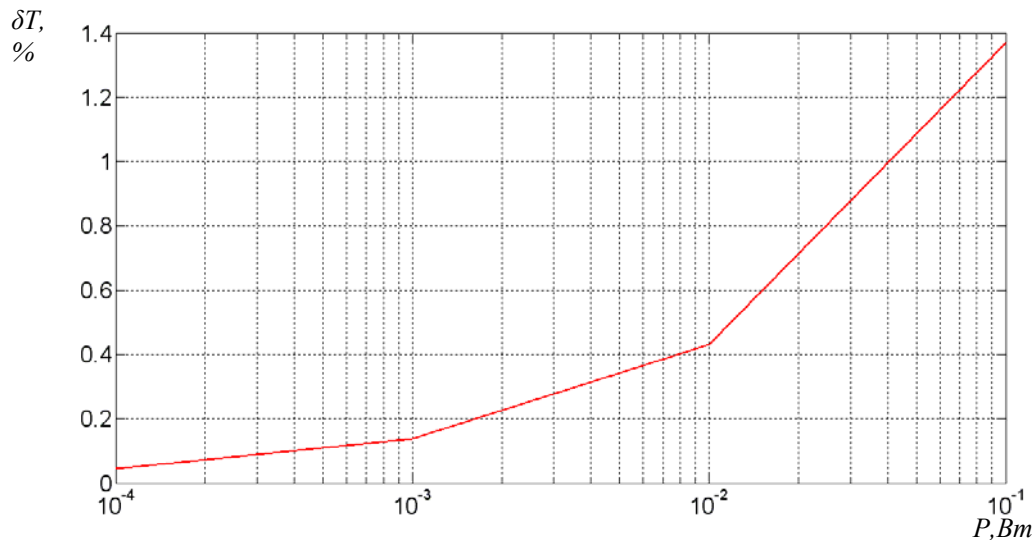


Рисунок 3 – Залежність методичної похибки від потужності лазера за тривалості вимірювання 1с

Враховуючи вираз (1), основну увагу потрібно приділити дослідженню похибок первинного та вторинного кола оптичної схеми та похибки експериментального визначення залежності еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла від температури. Проведені дослідження показали, що відносна похибка експериментального визначення ЕЧАКС КРС від температури становить 0,00032% для оксиду алюмінію та може змінюватися залежно від об'єкту дослідження.

4 ЕКСПЕРИМЕНТИ

Реальні спектри КРС мають різну форму [2, 3, 4, 5, 6], серед них найчастіше зустрічаються спектри, близькі до прямокутної, трикутної, трапецієподібної та пилкоподібної форми. Приклади спектрів КРС наведено на рис. 4.

Для дослідження моделей функцій перетворення оптичних елементів та вторинних кіл оптичних схем синтезовано моделі спектрів КРС різних форм (рис. 5) із такими характеристиками:

- прямокутний з координатами (1к, 2к, 3к, 4к) за частотою 1к – 2200 cm^{-1} , 2к – 2200 cm^{-1} , 3к – 2400 cm^{-1} , 4к – 2400 cm^{-1} ;
- трапецієподібний 1к – 2200 cm^{-1} , 2к – 2250 cm^{-1} , 3к – 2350 cm^{-1} , 4к – 2200 cm^{-1} ;
- трикутний 1к – 2200 cm^{-1} , 2к – 2300 cm^{-1} , 3к – 2400 cm^{-1} ;
- пилкоподібний 1к – 2200 cm^{-1} , 2к – 2200 cm^{-1} , 3к – 2400 cm^{-1} .

Моделі дозволяють змінювати ширину спектрів КРС.

ЕЧАКС КРС можна визначити двома методами:

- методом центру мас;
- медіанним методом.

Всі функції перетворення оптичних елементів досліджувалися із врахуванням лінійної, нелінійної, випадкової складових похибки та моделей спектрів КРС.

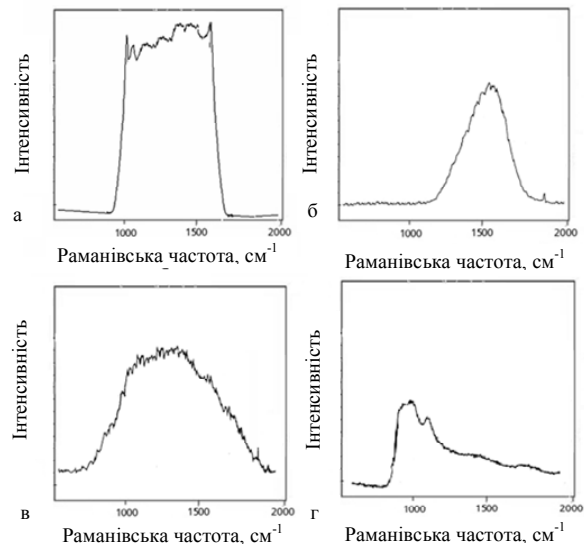


Рисунок 4 – Форми спектрів КРС

Лазерне випромінювання, проходячи крізь первинне коло оптичної схеми, може змінитися за інтенсивністю, оскільки пропускну здатність оптичних елементів не дорівнює 1 (100%). Кожен оптичний елемент має індивідуальну передавальну характеристику. Зміна значення інтенсивності лазерного променя не змінює форму спектру КРС [7, 8], а лише пропорційно зменшує або збільшує інтенсивність частотних складових КРС.

Для дослідження впливу інтенсивності лазерного випромінювання на значення еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру (ЕЧАКС) КРС, значення ЕЧАКС КРС визначалось методом центру мас.

На рис. 6 представлено результати дослідження залежності значення ЕЧАКС КРС від інтенсивності лазерного випромінювання для прямокутної моделі спектру КРС з урахуванням сумарної похибки функції перетворення елементів оптичної схеми.

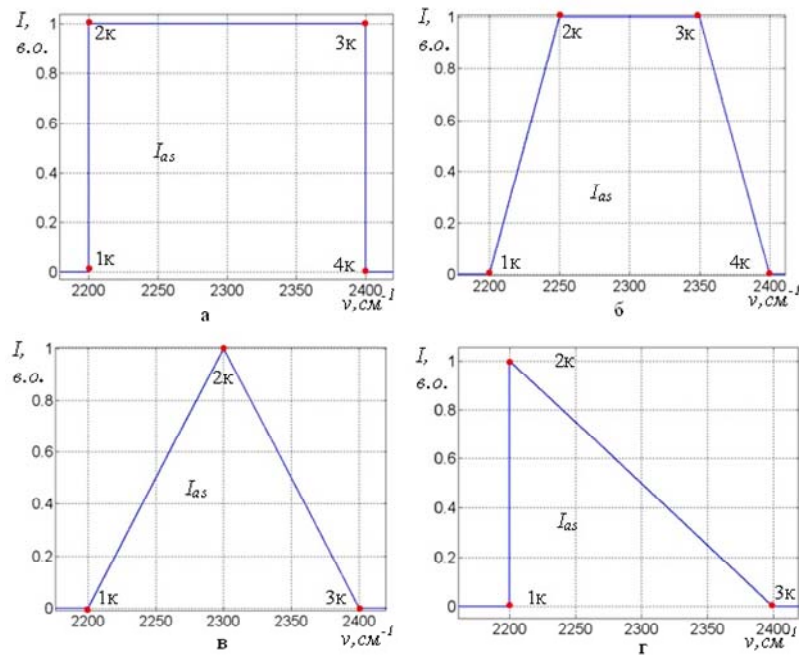


Рисунок 5 – Моделі спектрів КРС: а – прямокутний, б – трапецієподібний, в – трикутний, г – пілоподібний

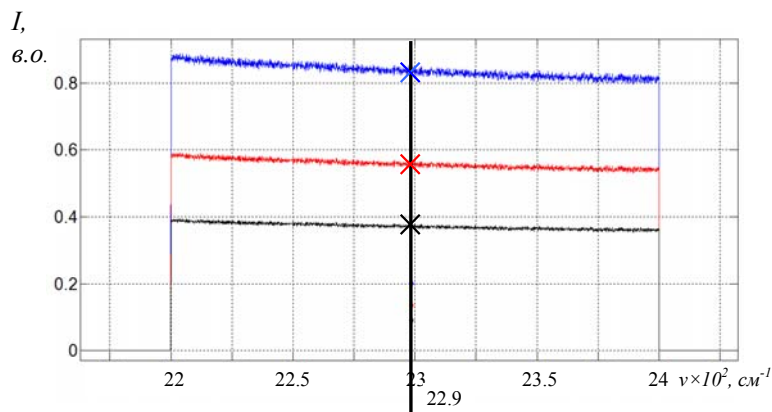


Рисунок 6 – Залежність ЕЧАКС КРС від інтенсивності випромінювання лазера

Дослідження проводилося за таких параметрів: ширина спектру 2200–2400 см^{-1} , випадкова складова похибки передавальної характеристики оптичних елементів – 1%, лінійна складова – 5%, нелінійна складова 5%. Рівень послаблення сигналу – 10%, 40%, 60%. Роздільна здатність за частотою 1 см^{-1} .

Значення ЕЧАКС КРС розраховувалося методом центру мас для кожного з спектрів. Для кожного з досліджуваних спектрів, які відрізнялися лише за рівнем послаблення сигналу, значення кожної гармоніки спектрів пропорційно змінювалися відносно рівня послаблення сигналу, отримане значення ЕЧАКС КРС було однакове, а саме 2290 см^{-1} .

Таким чином, проведені дослідження показали, що зміна інтенсивності лазерного променя не впливає на похибку визначення значення ЕЧАКС КРС.

Враховуючи, що складові похибки вимірювання в (1) δ_m , δ_l , δ_{ca} є відомими, а δ_{pk} не впливає на похибку

визначення значення ЕЧАКС КРС, доцільно є досліджувати вторинні кола оптичних схем і їх $\delta_{вк}$ [9].

Для дослідження непевності знаходження еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру КРС двома методами синтезовано програмну модель, алгоритм роботи якої представлено на рис. 7.

Проведено дослідження залежності непевності визначення і еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру КРС від кількості випадкових послідовностей (N) функції перетворення елементів оптичної схеми (рис. 8).

Дослідження показало, що при різних кількостях випадкових послідовностей непевність визначення непевності ЕЧАКС КРС буде різною. Для 10 випадкових послідовностей непевність становить 10,79862%, 100 послідовностей – 6,18%, для 1 тисячі послідовностей – 1,49%, а для 10 тисяч послідовностей – 0,45%.

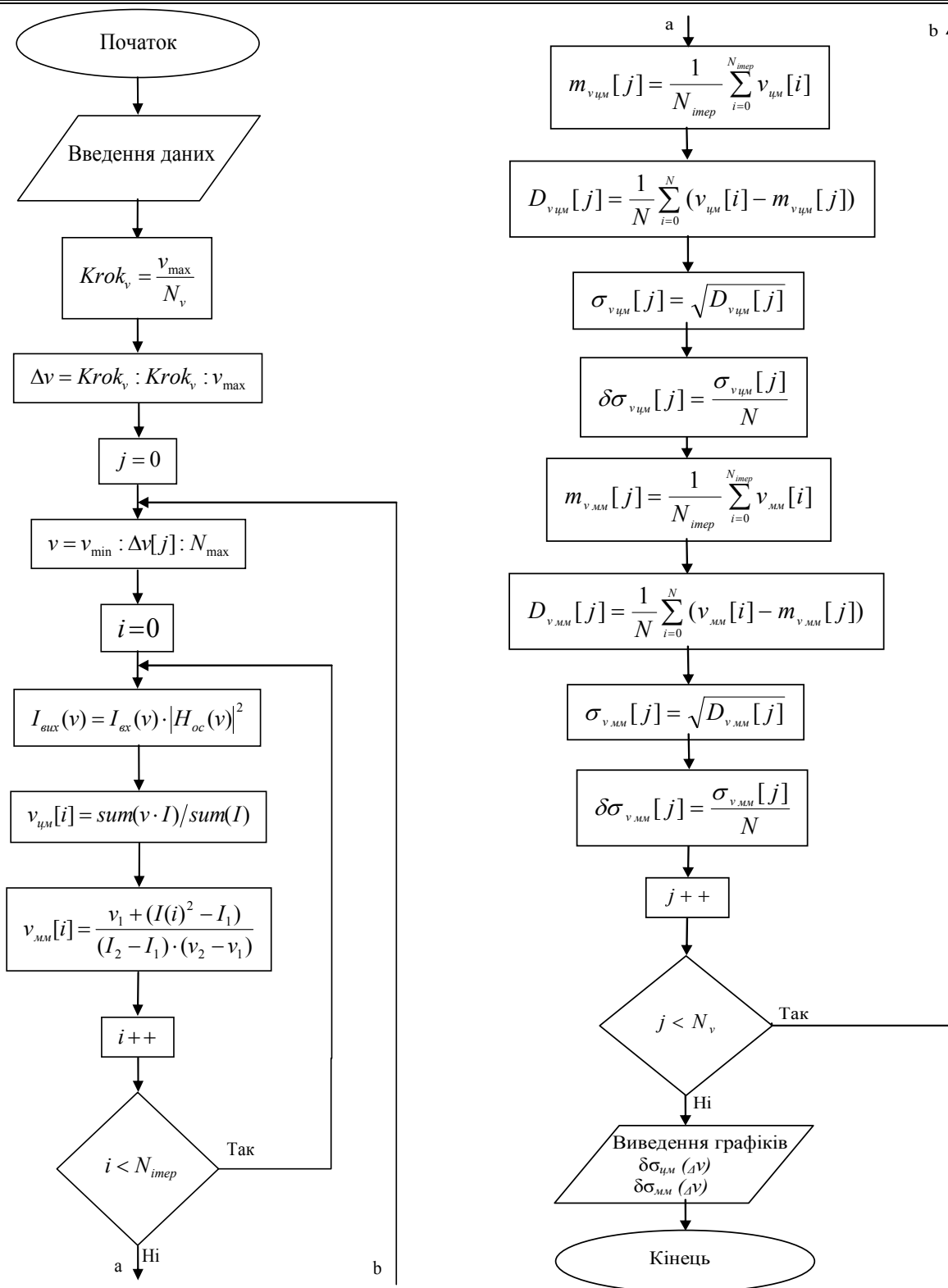


Рисунок 7 – Блок схема алгоритму роботи програми для знаходження залежності непевності визначення ЕЧАКС КРС

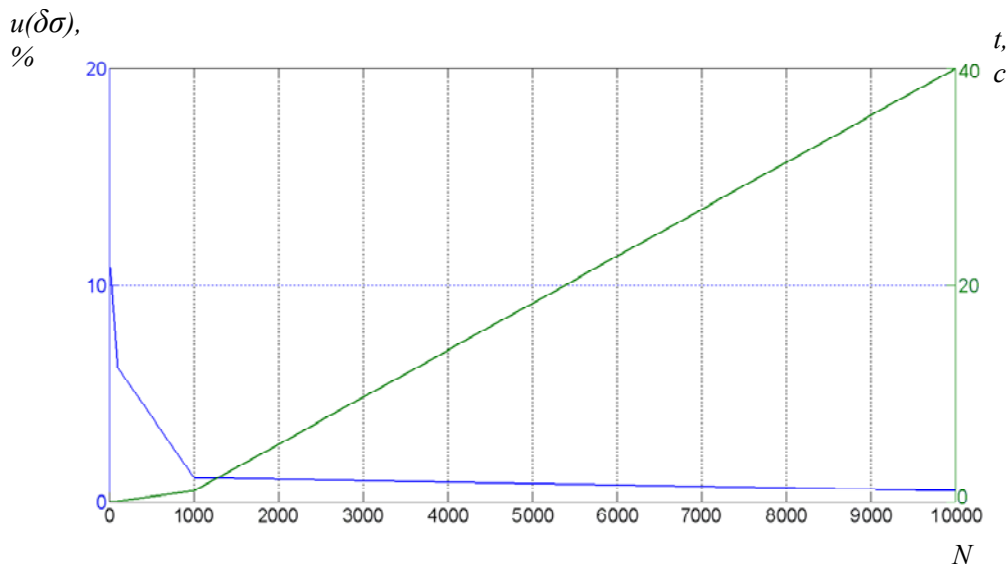


Рисунок 8 – Залежність визначення непевності ЕЧАКС КРС від кількості випадкових послідовностей

5 РЕЗУЛЬТАТИ

Побудована програмна модель визначення непевності ЕЧАКС КРС дозволяє працювати з будь якою кількістю випадкових послідовностей, проте, при збільшенні кількості послідовностей, час виконання суттєво зростає. З урахуванням цього, дослідження проводилися для 1000 випадкових послідовностей, за якого час виконання програми становить 0,96 с, до порівняння при 10000 випадкових послідовностях час виконання програми – 40 с [9, 10].

На підставі проведених досліджень отримано вираз відносної похибки засобу вимірювання температури, побудованого на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла за зсувом еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру; синтезовано моделі антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла різної форми; створено програмні моделі оптичних елементів та оптичних схем засобу вимірювання температури на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла.

6 ОБГОВОРЕННЯ

Отже, розроблена програмна модель визначення непевності ЕЧАКС КРС дає змогу зменшити похибку вимірювання температури за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла на 10%.

У порівнянні з вимірюванням температури методом, поданим у [1], ми отримали кращу швидкодію в 40 разів та зменшення відносної похибки вимірювання на 6%, за рахунок зменшення часу нагріву досліджуваного об'єкта лазером. Також, порівняно з пірометричним методом, товщина лазерного променя є досить невеликою, що дає можливість сфокусувати його на найменші об'єкти дослідження. Окрім цього, розроблений апаратно-програмний комплекс може бути використаний для калібрування матриці пікселів тепловізора, яку можна

застосувати для он-лайн спостереження за тепловими зображеннями та розташувати на борту безпілотного літального апарату, оскільки його вага не перевищує 200 грам.

ВИСНОВКИ

Отже, в результаті синтезовано комп'ютерні моделі оптичних елементів та оптичних схем, а також спектри комбінаційного розсіювання світла, запропоновано два методи визначення значення еквівалентної частоти антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла.

Проведені дослідження показали, що первинне коло оптичної схеми не вносить похибки в результат вимірювання температури за зсувом частоти комбінаційного розсіювання світла. На підставі отриманих значень відносної похибки засобу вимірювання температури, можемо стверджувати про доцільність проведення дослідження вторинного кола оптичної схеми.

Науковою новизною є синтезовані програмні моделі антистоксової компоненти спектру комбінаційного розсіювання світла та оптичних елементів оптичних схем, що дає змогу провести теоретичні дослідження метрологічних характеристик засобів вимірювання температури, побудованих на основі ефекту комбінаційного розсіювання світла.

ПОДЯКИ

Робота виконана в рамках теми ДБ\КРС №0113U003188 та продовжується в ДБ\Інформаційна технологія формування соціокомунікаційного середовища територіальних громад» для контролю території.

ЛІТЕРАТУРИ / ЛИТЕРАТУРА

1. Сегада О. В. Вимірювання температури мікрооб'єктів за допомогою спектру комбінаційного розсіювання світла : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.11.04 /

- О. В. Сегеда; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Л., 2012. – 20 с.
2. Коливна спектроскопія / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://chem.lnu.edu.ua/kah/Patsay/fmd/lecture-5.pdf>.
 3. Комбінаційне розсіювання світла / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://lektsii.com/1-34316.html>.
 4. Прояв у спектрах фотолюмінісценції та КРС впливу препарату у берберину на ДНК / [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/7608>.
 5. Раман-спектри і структура аморфних плівок Bi₂S₃ та As₂S₃ / [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.pu.if.ua/inst/phys_che/start/pccs/vol10/1003-10.pdf.
 6. Raman Spectra of Metamorphic Rocks Minerals / [Електронний ресурс]. Режим доступу http://jrm-derochette.be/Raman_Microscope/raman_spectra_Metamorphic.htm.
 7. Hesketh P.J. Bio Nano Fluidic MEMS / P. J. Hesketh // Springer Science & Business Media, NY, 2007. – 267 p.
 8. Zhang J. X. Molecular Sensors and Nano devices / John X J Zhang, Kazunori Hoshino // Springer Science & Business Media, USA, 2013. – 302 p.
 9. Кривенчук Ю. Метод комбінаційного розсіювання світла у термометрії поверхні мікрооб'єктів / Ю. Кривенчук, О. Сегеда, С. Яцишин, // Вимірвальна техніка та метрологія. – 2012. – № 73. – С. 28–31.
 10. The Method of Big Data Processing for Distance Educational System / [N. Shakhovska, O. Vovk, R. Hasko, Y. Kryvenchuk] // Advances in Intelligent Systems and Computing, Springer, Cham. – 2017. – Vol. 689. – P. 461–473.

Стаття надійшла до редакції 13.02.2018.
Після доробки 26.03.2018.

УДК 536.51.083:535

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ПОСТРОЕННОГО НА ЭФФЕКТЕ РАМАНА И СТРУКТУРА АЛГОРИТМА ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ

Кривенчук Ю. П. – канд. техн. наук, ассистент кафедры систем искусственного интеллекта Национального университета «Львовская политехника», Украина.

Шаховська Н. Б. – д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедры систем искусственного интеллекта Национального университета «Львовская политехника», Украина.

Вовк О. Б. – канд. техн. наук, доцент кафедры систем искусственного интеллекта Национального университета «Львовская политехника», Украина.

Мельникова Н. И. – канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры систем искусственного интеллекта Национального университета «Львовская политехника», Украина.

АННОТАЦИЯ

Актуальность. В процессе измерения температуры по сдвигу частоты комбинационного рассеивания света, возникает проблема определения эквивалентной частоты спектра. Это проявляется в результате прохождения отраженного излучения через оптические элементы, искажается погрешностями комплексных частотных характеристик этих элементов. Неточное определение эквивалентной частоты влечет за собой большую ошибку определения температуры. Поэтому актуальным является синтез программных моделей оптических элементов оптических схем, а также спектра комбинационного рассеивания света для дальнейших исследований.

Цель работы – синтез моделей элементов оптических схем и спектров комбинационного рассеивания света для дальнейшего исследования оптических элементов и оптических областей.

Метод. В последнее время широко применяются различные изделия и сенсоры, разработанные на базе микро – и наноструктурированных материалов. Разработан целый ряд компонентов электронной техники, которые в сотни раз меньше своих предшественников. В процессе изготовления таких миниатюрных компонентов электронной техники необходимо точно контролировать температуру. Характеристики существующих средств измерений не вполне удовлетворяют этим требованиям. Одним из перспективных направлений для решения этой проблемы является применение метода комбинационного рассеивания света. В рамках метода комбинационного рассеивания света известно два способа определения температуры: первый по отношению интегральной площади стоксовой компоненты спектра к антистоксовой, второй по сдвигу частоты комбинационного рассеивания света. Второй способ имеет лучшее быстродействие, превышающее первый более чем в 2 раза, так как нужно определять только антистоксовую компоненту спектра. Также, данный способ имеет меньшую методическую погрешность, которая возникает за счет перегрева исследуемого объекта лазером. Поэтому был выбран данный метод и способ для дальнейших исследований.

Результаты. Синтезированы компьютерные модели оптических элементов и оптических схем, а также спектры комбинационного рассеивания света. Предложено два метода определения значения эквивалентной частоты антистоксовой компоненты спектра комбинационного рассеивания света.

Выводы. Проведенные исследования показали, что первичный круг оптической схемы не вносит погрешности в результат измерения температуры по сдвигу частоты комбинационного рассеивания света. Доведено целесообразность проведения исследования вторичной цепи оптической схемы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: измерение температуры, спектры комбинационного рассеивания света, Романовский термометр.

COMPUTER MODELING OF FUNCTIONS FOR THE TRANSFORMATION OF OPTICAL SCHEMES OF MEASUREMENT OF TEMPERATURE CONSTRUCTED ON RAMAN EFFECT AND STRUCTURE OF THE ALGORITHM OF THEIR RESEARCH

Kryvenchuk Yu. P. – PhD, Assistant of the Artificial Intelligence Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

Shakhovska N. B. – Dr.Sc., Professor, Head of Artificial Intelligence Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

Vovk O. B. – PhD, Associate professor of the Artificial Intelligence Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

Melnykova N. I. – PhD, Senior Lecturer of the Artificial Intelligence Department, Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine.

ABSTRACT

Context. In the process of measuring the temperature for the frequency shift of the combination scattering of light there is a problem of determining the equivalent frequency of the spectrum. This is manifested by the passage of reflected radiation through optical elements, which is distorted by the errors of the complex frequency characteristics of these elements. Large error in temperature determination is result of inaccurate definition of the equivalent frequency. Therefore, the synthesis of software models of optical elements of optical circuits, as well as the spectrum of combinational light scattering for further research is relevant.

Objective – synthesis of models of elements of optical circuits and spectra of combination scattering of light. That makes it possible to investigate the uncertainty of the transfer characteristics of the optical transformation function.

Method. Recently, various products and sensors, developed on the basis of micro and nanostructure materials, are widely used. A number of electronic technology components are developed that are hundreds of times smaller than their predecessors. In the process of manufacturing such miniature components of electronic technology need to carefully monitor the temperature. Characteristics of existing measuring instruments do not fully meet these requirements. One of the promising directions for solving this problem is the use of the method of combining light scattering. Two methods of determining the temperature are known in the framework of the method of the combination scattering of light: the first with respect to the ratio of the integral area of the Stokes component of the spectrum to the anti-Stokes, the second by the shift of the frequency of light scattering. The second method has a better performance at least 2 times, since it is only necessary to determine the anti-Stokes component of the spectrum. Also, this method has a lesser methodological error, which arises due to overheating of the object being studied by a laser. Therefore, this method and method for further research was chosen.

Results. Synthesized computer models of optical components and optical circuits and Raman spectroscopy. Two methods for determining the value of the equivalent frequency of an anti-Stokes component of the light scattering spectrum are proposed.

Conclusions. The conducted studies have shown that the primary circle of the optical circuitry does not make any errors in the result of measuring the temperature at the shift of the frequency of the combination light scattering. It's proven expedient to conduct a study of the secondary circle of the optical circuit.

KEYWORDS: temperature measurement, spectra of combinational light scattering, Raman thermometer.

REFERENCES

1. Seheda O. V. Measurement of the temperature of microscopic objects with the aid of the spectrum of light scattering combinations: author's abstract. dis ... Candidate tech Sciences: 05.11.04. Lviv Polytechnic National University. Lviv, 2012, 20 p.
2. Oscillation spectroscopy / [Electronic resource]. Access mode: <http://chem.lnu.edu.ua/kah/Patsay/fmd/lecture-5.pdf>.
3. Combination light scattering / [Electronic resource]. Access mode: <http://lektsii.com/1-34316.html>.
4. Manifestation in the spectra of photoluminescence and CRC of the effect of the drug in berberine on DNA / [Electronic resource]. Access mode: <http://www.ekmair.ukma.edu.ua/handle/123456789/7608>.
5. Raman spectra and the structure of amorphous films Bi₂S₃ and As₂S₃ / [Electronic resource]. Access mode: http://www.pu.if.ua/inst/phys_che/start/pcss/vol110/1003-10.pdf.
6. Raman Spectra of Metamorphic Rocks Minerals / [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupu http://jmderochette.be/Raman_Microscope/raman_spectra_Metamorphic.htm.
7. Peter J. Hesketh. «Bio Nano Fluidic MEMS». Springer Science & Business Media, NY, 2007.
8. John X J Zhang, Kazunori Hoshino. «Molecular Sensors and Nano devices». Springer Science & Business Media, USA, 2013
9. Kryvenchuk Yu., Seged O., Yatsyshyn S., Method of Combination Light Scattering in the Thermometry of Microscopic Surface, Measuring technique and metrology, 2012, No. 73, pp. 28–31.
10. Shakhovska N., Vovk O., Hasko R., Kryvenchuk Y. The Method of Big Data Processing for Distance Educational System, *Advances in Intelligent Systems and Computing* Springer, Cham, 2017, Vol. 689, pp. 461–473.