

**ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Славкова Віктора Миколайовича

"Розробка цифрового фотографічного методу теплового контролю металів при високих температурах", представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.13 – Прилади і методи контролю та визначення складу речовин

**Актуальність теми**

Тепловий метод контролю, розвитку якого і присвячена дисертаційна робота, є важливою і невід'ємною складовою існуючих методів неруйнівного контролю, що підтверджується світовою практикою його застосування у різноманітних сферах, зокрема для виявлення дефектів у металевих виробках і конструкціях. Потреба у тепловому контролі металів підтверджується тим, що в Україні тільки від корозії металу втрати становлять на рік понад 140 млн. доларів, а ще 100 млн. – від різноманітних дефектів.

Але впровадження теплового контролю у виробництво стримується двома факторами – по-перше, відсутністю вітчизняних приладів для його проведення (у першу чергу тепловізорів), по-друге, дороговізною закордонних моделей – від 10 тис. доларів і вище. При цьому більш якісні моделі з високою просторовою роздільною здатністю та з достатньою швидкістю коштують порядку 50 тис. доларів.

Між тим, як це вірно відмітив автор дисертації, найбільш коштовною частиною тепловізора є приймальна фоточутлива матриця, така ж сама, як і в цифровому фотоапараті. Різниця лише у спектральній чутливості фотодатчиків – в тепловізорі це спектр ближнього (або середнього) інфрачервоного діапазону, в фотоапараті – видимий спектр з «заходом» у ближній інфрачервоний. Для контролю об'єктів з температурою нижче 650°C матриця цифрового фотоапарату не придатна, а більш високі температури може зареєструвати. А головне – вона більш ніж на 2 порядки дешевше тепловізійної.

Тому тема дисертаційної роботи, присвяченої розробці цифрового фотографічного методу теплового контролю металів, є актуальною, передусім з економічної точки зору.

Актуальність теми підтверджується і тим, що вона пов'язана з виконанням комплексної держбюджетної НДР МОН України «Підвищення точності вимірювальних перетворювачів засобами вбудованого тестового контролю» (ДР № 0109U002421), що виконувалась на кафедрі інформаційно-вимірювальних технологій і систем НТУ «ХП», де автор був виконавцем окремих етапів.

**Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій**

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій базується на глибокому аналізі літературних джерел (у списку літератури 189 найменувань!) за даною проблемою, чітко сформульованій меті досліджень і логічно

пов'язаному з нею переліку вирішуваних задач, використанні сучасних методів досліджень (і в першу чергу комп'ютерних методів обробки експериментальних даних), аналізі отриманих результатів у порівнянні з даними інших авторів, якісному формулюванні висновків і рекомендацій.

Здобувач використовує класичні або загальноприйняті методи досліджень - такі, як теоретичні основи електроніки, фотометрії та колориметрії, теорії теплообміну, методи цифрової обробки сигналів та комп'ютерного програмування.

Усі висновки і рекомендації підкріплені експериментальними даними, отриманими автором, і збігаються з очікуваними фізичними уявленнями про процеси, що розглядаються.

### **Достовірність результатів дисертації**

Достовірність результатів дисертаційних досліджень забезпечується коректністю постановки задач, що вирішуються, використання стандартних математичних методів при проведенні чисельного аналізу і розрахунків, застосуванням загальноприйнятих методів і засобів вимірювань та дбайливим проведенням експериментів. Автор широко використовує комп'ютерні методи як для обробки результатів експериментів, так і для автоматизації їх проведення. Завдяки цьому накопичується великий обсяг експериментальних даних, які у підсумку надаються у наглядній та достовірній формі.

**До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:**

- вперше застосовано цифровий фотоапарат у якості засобу реєстрації температурного поля при тепловому неруйнівному контролі і отримана кількісна інформація при виявленні дефектів;
- вперше створена статистична модель, що дозволяє на основі вимірних даних вирішувати задачу розміщення певної кількості нагрівачів для створення на поверхні металевої пластини температурного поля певної конфігурації;
- вперше запропоновано метод визначення питомої теплоємності металів з використанням цифрового фотоапарату у якості реєстратора температурного поля.

### **Практичне значення отриманих результатів**

Розроблений здобувачем цифровий фотографічний метод дозволяє (завдяки більш низькій собівартості апаратури) значно поширити застосування теплового методу для контролю металів. При цьому даний метод (патент України на корисну модель №90803) за своїми метрологічними характеристиками не поступається існуючим методам теплового неруйнівного контролю.

Для реалізації розробленого методу створені системи керування налаштуванням цифрового фотоапарату, системи контролю та програмні продукти обробки даних та керування.

На базі цифрового фотографічного методу розроблені способи визначення

питомої теплоємності металу, вимірювання розподілу випромінювальної здатності по металевій поверхні, розрахунку розташування нагрівачів уздовж поверхні об'єкту контролю для забезпечення рівномірного нагріву.

Запропонований метод впроваджено у ТОВ "Виробниче обладнання Сплав-500" (м. Харків) для теплового контролю виробів металопрокату, ТОВ "ТТ" (м. Харків) при контролі комплектуючих електробритв в процесі їх загартування. Результати дисертації використані у кувально-пресовому виробництві ПАТ "Новокраматорський машинобудівний завод" (м. Краматорськ) та навчальному процесі кафедри "Інформаційно-вимірювальні технології і систем" НТУ "ХПІ".

### **Повнота викладення результатів дослідження в опублікованих працях**

Основний зміст дисертації викладено здобувачем у 25 наукових працях, з них: 9 статей у наукових фахових виданнях України, 1 у іноземному періодичному фаховому виданні, 2 патенти України на корисну модель, 13 у матеріалах конференцій.

Рівень і кількість публікацій та апробації результатів дисертації на конференціях повністю відповідають вимогам МОН України.

Автореферат ідентичний за змістом основним положенням дисертаційної роботи і повністю відображає основні наукові результати, отримані здобувачем.

Оформлення дисертації у цілому відповідає вимогам МОН України.

### **Зауваження щодо змісту дисертації**

1. Присутня деяка плутанина з калібрувкою цифрового фотоапарата:

- по-перше калібрувальною залежністю в багатьох місцях дисертації (наприклад, с. 84) автор називає залежність температури  $T_{\text{я}}$  від "червоного компонента матриці"  $R$  (тобто вихідного сигналу), тоді як для будь-якого перетворювача все навпаки - залежність сигналу (тобто,  $R$ ) від випромінюваного параметру ( $T_{\text{я}}$ ) є градуіровочною (чи калібрувальною) залежністю;

- по-друге, використана здобувачем (підрозділ 4.4) лінійна апроксимація цієї калібрувальної залежності не супроводжується оцінкою похибки апроксимації (наведена якась "похибка квантування"), між тим візуальна оцінка з малюнка 4.5 дає похибку до 25% (на рівні 650°C), що робить сумнівними усі наступні висновки (табл. 4.19) про точність вимірів істинної температури на рівні  $\leq 1\%$ ;

-по-третє, наведене на стор.103 ствердження, що "червона компонента матриці"  $R$  (тобто вихідний сигнал) пропорціонален істинній температурі  $T_i$  протиречить методиці калібрування, за якою зв'язок  $T_i$  і  $T_{\text{я}}$  згідно формули (3.8) є нелінійним та апріорно невизначеним (відсутня інформація про  $\varepsilon$ ), тому пропорційного зв'язку між  $I$  і  $T_i$  не може бути.

2. Заголовок глави 3 – « Теоретичні положення цифрового фотографічного методу» є дещо декларативним (як і інші ствердження про розробку «теоретичних основ», що містяться у дисертації). У дійсності мова йде про розробку методичних основ обробки цифрових зображень теплового випромінювання металів у видимому діапазоні спектру, що включає у себе майже усі підрозділи глави 3 (основної глави дисертації). Виключенням можна вважати підрозділ 3.6, де дійсно сформульовані нові теоретичні положення, на яких побудовані способи визначення питомої теплоємності металів, метод розрахунку розміщення нагрівачів для забезпечення заданого розподілу температури і метод отримання розподілу випромінювальної здатності по поверхні металу.

3. У тексті дисертації є деякі незрозумілості, коли наведені величини ніяк не пояснюються. Наприклад, в формулах (3.41) та (3.42) використані поняття: «моделі  $T(x,y)$  та  $R(x,y)$ », при цьому  $T(x,y) = R(x,y)$ . Не ясно, що це таке і як температура може рівнятися безрозмірній величині?

4. При обґрунтуванні можливості використання фотоапарату для реєстрації теплового випромінювання здобувач стверджує, що це можливе за рахунок перекриття спектру чутливості матриці зі спектром випромінювання. Але ніде не дається кількісна оцінка такого «перекриття» (наприклад, у відсотках від загальної потужності випромінювання). Ніяк це не враховується при виборі типу фотоапарату, між тим із даних наведених на рис. 4.5 видно, що у NICON перекриття на порядок більше, ніж у CANON.

5. Недостатньо уваги приділено закономірностям саме теплового контролю металів: отримано великий обсяг експериментальних даних (зняті термофільми для різних по номенклатурі та параметрам дефектів), а їх аналіз не проведений (за виключенням впливу об'єму дефекту на величину сигналу). А як впливає час нагріву та охолодження? Поперечний розмір дефекту і глибина його розташування? Відповідей на ці питання в дисертації немає.

6. Викликає сумнів метод визначення розподілу випромінювальної здатності ε по поверхні металевої пластини. По-перше, наведений на рис. 4.25 розподіл має дуже різькі перепади ε (у вигляді зубців), що мало ймовірно на практиці. По-друге, не ясно, як саме здійснювався нагрів: рівномірно, чи ні? До якої температури? Які були перепади температури? Якщо нагрів був таким же, як і в інших випадках – купольної форми, то внаслідок залежності ε від температури розподіл буде викривленим.

7. Є певні недоліки у оформленні дисертації:

- обсяг дисертації занадто великий (243 стор), що обумовлено тим, що розділи 2 і 4 перевантажені технічними подробицями, які не мають особливого значення для вирішуємої задачі (особливо 4-й розділ – 60 сторінок!); а додатки А1 та А2 не несуть корисної інформації, бо передруковані з технічних довідників;

- у тексті дисертації і автореферату мають місце деякі помилки, наприклад у дисертації – стор 68, у авторефераті – стор 7, 11, 12.