

В І Д Г У К

офіційного опонента **Грищенко Тетяни Георгіївни**
на дисертаційну роботу **Корнієнка Андрія Леонідовича**
«Методи і засоби багатокольорової симетрично-хвильової термометрії
металевих сплавів», що подана на здобуття наукового ступеня кандидата
технічних наук за спеціальністю 05.11.04 – прилади та методи вимірювання
теплових величин

Актуальність обраної теми

Відомі класичні технології пірометрії випромінювання забезпечують потреби безперервного термоконтролю об'єктів, у тому числі металевих сплавів, але в умовах стабільності їх випромінювальних характеристик та пропускання проміжних середовищ. У таких умовах визначення температури та відповідних температурних поправок до результатів вимірювань на об'єктах, які термометрують цілком забезпечують припустимі для технічного термоконтролю результати і широке застосування методів класичної пірометрії випромінювання. При технічно добре організованому термоконтролі похибка вимірювання температури зазвичай не перевищує 1% і задовольняє вимогам металургії. Однак, при значеннях випромінювальної здатності і пропусканні проміжного середовища, які випадково змінюються, похибки оптичної класичної термометрії досягають неприйнятних значень. Наприклад, у випадку оптичного термоконтролю поверхні заготовки під кристалізатором МБЛЗ, що окислюється тільки методичні складові похибок енергетичної та спектрального відношення термометрії, за рахунок зміненої випромінювальної здатності, відповідно, досягають 5,6 і 3,1%.

Через недосконалість термоконтролю процесі металургії збільшується брак металопродукції, енерговитрати перевищують в 1,5 – 2,0 рази розрахункові, виявляється зниженим реальний ресурс футерування, можливі аварійні ситуації. Тому в структурі метрологічного забезпечення об'єктів металургійного виробництва температурний контроль займає до 30% від усіх засобів вимірювальної техніки.

Методи та відповідні засоби вимірювання температури, що засновані на класичній енергетичній та спектрального відношення пірометрії випромінювання застосовують, без введення температурних поправок у разі «чорного тіла» для однокольорової пірометрії та «чорного і сірого тіл» для двокольорової пірометрії, або з поправками - у разі будь-яких забарвлених тіл, але зі стабільними оптичними характеристиками. Тому для розширення можливостей оптичної термометрії дисертантом було створено нові методи багатокольорової пірометрії випромінювання. Вони значно підвищують метрологічні характеристики пірометрії випромінювання у металургійних умовах невідомих оптичних характеристик металевих сплавів, або тих, що змінюються випадково.

Відомі технології багатокольорового термоконтролю більш ефективні, ніж класичні, та дозволяють в однакових умовах зменшити зазначені похибки від 11,0 до 2,2%. Однак, такий рівень похибок все ще є недостатнім для оптичного термоконтролю в металургії, в тому числі, наприклад, для управління температурочутливим процесом безперервної розливки.

Тому зараз в індустріально розвинених країнах (США, Японії, Німеччини, Росії та Білорусі) проводяться інтенсивні дослідження, що спрямовані на створення найбільш перспективних для металургії багатокольорових технологій безперервного оптичного термоконтролю. Аналогічні дослідження також проводяться в Україні, і насамперед у ФТІМС НАН України. Все вказане свідчить про актуальність обраного напрямку досліджень в цілому та теми дисертації зокрема.

Загальна характеристика дисертаційної роботи

Дисертація, що представлена на відгук, є рукописом, який складається зі вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, переліку використаних джерел та додатків. Основний текст роботи викладено на 135 сторінках і містить 20 таблиць і 27 рисунків. Загальний обсяг роботи складає 171 сторінку, у тому числі 3 додатка на 6 сторінках та перелік використаних джерел із 116 найменувань на 14 сторінках.

Робота виконана у відділі термометрії та фізико-хімічних досліджень Фізико-технологічного інституту металів і сплавів НАН України. Основу роботи складають результати теоретичних та практичних досліджень і розробок, що виконані автором в рамках бюджетних відомчих тем: № III.38.08. 574 «Розробити теоретичні основи, методи і засоби багатокольорової світловодної і безконтактної термометрії металевих сплавів»; № III.16.15.659 «Розробити фізичні основи, методи і засоби симетрично-хвильової пірометрії випромінювання металевих сплавів».

Зміст дисертаційної роботи, стиль та мова викладення, якість ілюстрацій відповідають встановленим вимогам ВАК України до дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та завдання досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами та темами, відмічено наукову новизну та практичну цінність отриманих у роботі результатів, наведено дані про особистий внесок здобувача, публікації, апробацію результатів роботи, обсяг і структуру дисертації.

У першому розділі наведено аналітичний огляд та аналіз недоліків сучасних методів багатокольорової пірометрії випромінювання. Вперше виконана класифікація а також сформульовані вимоги до багатокольорових термометричних технологій, для виконання яких наведено перелік поставлених завдань дисертаційної роботи.

У другому розділі В результаті аналізу оптичних характеристик металевих сплавів у виробничих умовах класифіковані спектральні розподіли

їх випромінювальної здатності за якісними і кількісними характеристиками. Розроблено узагальнююче пірометричне рівняння, з використанням якого досліджено вплив оптичних характеристик багатокольорової пірометрії випромінювання і металевих сплавів на методичні та інструментальні похибки лінійної симетрично-хвильової термометрії. Досліджено вплив похибок вимірювання значень вихідної однокольорової температури випромінювання на інструментальні похибки симетрично-хвильової термометрії та розроблено рекомендації щодо їх зменшення.

Доведені явні метрологічні переваги і перспективність лінійної симетрично-хвильової пірометрії випромінювання для термоконтролю найпоширеніших в металургії залізвуглецевих сплавів та інших матеріалів, що мають опуклі спектральні розподіли випромінювальної здатності, які спадають.

У третьому розділі описано розроблені методи і засоби симетрично-хвильової пірометрії випромінювання.

Методи трьохкольорової лінійної симетрично-хвильової термометрії засновані на залежності випромінювальної здатності на середній хвилі від випромінювальної здатності на граничних хвилях. Для будь-яких лінійних розподілів випромінювальної здатності випромінювальна здатність на середній хвилі λ_2 визначається середнім арифметичним значень випромінювальної здатності ε_1 і ε_3 на граничних хвилях λ_1 і λ_3 . Для універсального метода випромінювальна здатність на середній хвилі λ_2 визначається відношенням суми значень випромінювальної здатності ε_1 і ε_3 на граничних хвилях λ_1 і λ_3 до дільника D , значення якого задається з урахуванням вимог до точності вимірювань температури і перевіряється за критерієм відповідності.

Розроблена багатокольорова пірометрична система. Принцип дії системи заснований на вимірюваннях однокольорової температури випромінювання на робочих хвилях з подальшим обробленням первинної пірометричної інформації за алгоритмами багатокольорової лінійної або універсальної симетрично-хвильової пірометрії випромінювання. Пірометрична система забезпечує реєстрацію, зберігання і оброблення первинної пірометричної інформації на 2024 вузькосмугових ділянках спектра в діапазоні (0,5 - 1,1) мкм.

У четвертому розділі в результаті досліджень впливу матеріалів і заглиблення в нагрівник печі моделі АЧТ на її ізотермічність доведено перспективність використання мідних моделей у діапазоні середніх значень температури.

З використанням отриманих результатів розроблені методика і установки для експериментальних досліджень метрологічних характеристик багатокольорової симетрично-хвильової пірометрії випромінювання.

Для експериментальних досліджень метрологічних характеристик розроблені установки, в яких здійснюється термодинамічно-рівноважне

випромінювання та безфонове нагрівання зразків об'єктів, що термометруються.

В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлено значно більш високі в порівнянні з відомими рішеннями метрологічні характеристики багатокольорової симетрично-хвильової пірометрії випромінювання. Модернізація на базі симетрично-хвильових технологій дозволяє значно підвищити метрологічні характеристики і розширити сферу застосування в металургії розробок ФТІМС НАН України, які стосуються безперервного світловодного і безконтактного термоконтролю, що забезпечує оптимальне управління металургійними процесами отримання, оброблення і розливання рідкого металу.

Достовірність результатів дисертаційної роботи

Основні теоретичні положення, які захищаються здобувачем, обґрунтовані та підтверджені результатами теоретичного аналізу, математичного моделювання та експериментальними дослідженнями.

Достовірність наукових результатів забезпечена використанням математичних моделей, щ отримано із термодинамічних законів теплового випромінювання, дослідженням метрологічних характеристик симетрично-хвильової пірометрії випромінювання на базі випромінювальних характеристик вольфраму як найбільш вивченого в оптиці металів та металургії, використанням мідних моделей АЧТ з більш високою ізотермічністю, що виключає вплив CO_2 , а також застосуванням високоточних вторинних перетворювачів та зразкових термоелектричних перетворювачів спеціальних конструкцій для вимірювань температури АЧТ.

Мета, постановка завдання, сформульовані до кожного розділу висновки, а також основні результати дисертації є логічними, повністю відображають отримані автором наукові результати.

Викладені в дисертаційній роботі наукові положення і результати доповідалися на 13 науково-технічних конференціях, симпозіумах і семінарах, у тому числі 11 міжнародних і 2 всеукраїнських, що відповідають тематиці роботи.

Наукова новизна дисертаційної роботи

До суттєвих положень, які визначають новизну даної дисертаційної роботи варто віднести наступне, що отримано вперше:

1 – концепція побудови математичних моделей для обчислення температури об'єктів з лінійними та нелінійними розподілами випромінювальної здатності за температурою їх випромінювання;

2 – встановлені закономірності впливу оптичних характеристик багатокольорової термометрії і металевих сплавів на методичні похибки вимірювання температури за методом симетрично-хвильової пірометрії випромінювання, використання яких підвищує метрологічні характеристики

безперервного безконтактного і світловодного термоконтролю, та визначені джерела і способи зменшення та виключення цих похибок;

3 – закономірності впливу похибок вимірювання однокольорових температур випромінювання на інструментальні похибки багатокольорової симетрично-хвильової термометрії та рекомендації щодо їх зменшення;

4 – алгоритми та методи багатокольорової лінійної та універсальної симетрично-хвильової пірометрії випромінювання металевих сплавів. Перший метод виключає методичні похибки при будь-яких лінійних розподілах випромінювальної здатності і в решті випадків нелінійних розподілів випромінювальної здатності металевих сплавів має більш високі метрологічні характеристики в порівнянні з відомими рішеннями. Другий метод дозволяє виключити методичну складову з похибки вимірювання температури металевих сплавів з будь-якими спектральними розподілами випромінювальної здатності.

Наукова новизна отриманих результатів підтверджена шістьма патентами України на способи вимірювання температури.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає:

1 – у створенні багатокольорової пірометричної системи для технічної реалізації розроблених методів лінійної та універсальної симетрично-хвильової пірометрії випромінювання на базі сучасних оптоелектронних, волоконно-оптичних, мікропроцесорних та комп'ютерних технологій;

2 – у розробленні методичного забезпечення та комплексу технічних засобів для градування та експериментальної перевірки метрологічних характеристик систем багатокольорової симетрично-хвильової термометрії металевих розплавів;

3 – використанні симетрично-хвильових технологій у складі розробленого і впровадженого ФТІМС НАН України найбільш ефективного безперервного безконтактного і світловодного термоконтролю металевих розплавів у процесі їх отримання, оброблення і розливання, що дозволяє в кілька разів підвищити метрологічні характеристики і розширити сферу застосування такого контролю на підприємствах металургії та ливарних виробництвах;

4 – у зниженні за рахунок безперервного термоконтролю металевих розплавів, наприклад, в індукційних плавильних міксерних і розливних печах енергозатрат, браку «по температурі», угару шихтових матеріалів, а також у підвищенні терміну служби футеровки, продуктивності печей і запобіганні аваріям пов'язаним з надмірним нагріванням або охолодженням металу;

5 – впровадженні розроблених вимірювальних технологій у складі систем безперервного світловодного та безконтактного температурного контролю, наприклад, які були передані «DOSIC» (КНР).

Повнота викладення основних результатів в опублікованих працях

Основні наукові положення опубліковані в період з 2011 по 2015 роки. Зміст дисертаційної роботи достатньо повно відображений у 27 опублікованих наукових працях, у тому числі 1 монографії «Новые технологии многоцветовой симметрично-волновой термометрии и их метрологические характеристики», 15 статтях у фахових наукових виданнях України та зарубіжжя, 5 у збірниках матеріалів і тез науково-технічних конференцій, 6 патентах.

Персональний внесок здобувача в роботи, які написані у співавторстві, відображений як в дисертації, так і в авторефераті.

Зміст автореферату і основних положень дисертації ідентичний.

До зауважень по дисертаційній роботі слід віднести наступне:

1 – використання не прийнятого у термометрії, хоча більш фізично обґрунтованого терміну «температура випромінювання», а також вживання у тексті конкретної фізичної величини у множині, (наприклад, температура, довжина тощо), що не відповідає рекомендаціям чинного стандарту ДСТУ 2681-94.

2 – результати експериментальних досліджень, які були проведені у середньому температурному діапазоні розповсюджено на більш широкий діапазон значень температури;

3 – не зрозуміло, чи враховані похибки обумовлені використанням дровових термоелектричних перетворювачів, для яких необхідні спеціальні конструкції та методики експериментальних досліджень;

4 – нажалі не була проведена метрологічна атестація розробленої багатокольорової термометричної системи;

5 – у переліку основних праць за темою дисертації, що наданий у авторефераті, патент № 76096 наведений двічі на позиціях 17 і 18, а патент № 82 840 – відсутній.

Не зважаючи на висловлені зауваження, вважаю, що вони не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про відповідність дисертації вимогам «Порядку...»

Дисертаційна робота Корнієнка А.Л. «Методи і засоби багатокольорової симетрично-хвильової термометрії металевих сплавів» є завершеною науковою працею, містить висунуті здобувачем нові наукові положення, а також науково обґрунтовані теоретичні і експериментальні результати, які в сукупності вирішують актуальне наукове завдання щодо розроблення теоретичних і метрологічних основ багатокольорової симетрично-хвильової пірометрії випромінювання, що значно підвищує метрологічні характеристики і розширює сферу застосування безперервного безконтактного і світловодного термоконтролю металевих сплавів.

Робота характеризується єдністю змісту і свідчить про особистий внесок здобувача у науку.

Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній завдання, викладені основні наукові результати дозволяють зробити висновок про те, що дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин та профілю спеціалізованої вченої ради К 26.224.02.

На підставі проведеного аналізу дисертаційної роботи Корнієнка А.Л. «Методи і засоби багатокольорової симетрично-хвильової термометрії металевих сплавів» можна зробити висновок про те, що за актуальністю, науковим рівнем, отриманими науковими результатами та практичною цінністю вона повністю відповідає вимогам МОН України щодо кандидатських дисертацій в частині пп. 9, 11, 12, 13, «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 № 567, а її автор – **Корнієнко Андрій Леонідович** заслуговує на присудження наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.11.04 – прилади та методи вимірювання теплових величин.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук,
ст. наук. співробітник,
провідний наук. співробітник
ІТТФ НАН України,
Лауреат Державної премії України
в галузі науки і техніки

Т.Г. Грищенко

Підпис Т.Г. Грищенко засвідчую:

Вчений секретар ІТТФ НАН України
кандидат технічних наук

О.І. Чайка