

## В І Д Г У К

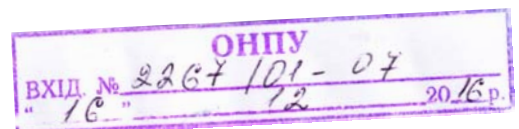
**офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Шмараєва Олександра Васильовича на тему:  
«Метрологічне забезпечення системи управління  
якістю біметалевих виробів», поданої до захисту  
на здобуття наукового ступеня кандидата технічних  
наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація,  
сертифікація та метрологічне забезпечення**

### Актуальність теми.

Сьогодні всебічне запровадження систем управління якістю будь-якого виробництва вважається настійною необхідністю. Це є особливо доцільним, коли запроваджуються нові технологічні процеси та нові матеріали. Тому на перший план виходить створення ефективних автоматизованих систем управління (АСУ) технологічними процесами, які насправді уособлюють складову частину систем управління якістю. Впровадження АСУ скорочує марні втрати, підвищує якість виконання технологічних операцій та зрештою кінцевого продукту. Серед виробничих процесів є такі, що потребують високого ступеня автоматизації, а також – забезпечення достовірної і повнішої інформації про умови виробництва. До таких об'єктів відносяться процеси виготовлення біметалевих деталей засобами лиття. Зокрема, перед заповненням ливарних прес-форм якісний результат готовності такої форми до заливання може бути отриманий тільки як об'єднання оцінок температурних полів поверхонь тіла прес-форми і сталеві вставки, яка в майбутньому стане частиною біметалевої виливки. При цьому інформація має бути достовірною і її бажано отримати без руйнування об'єкта контролю.

Тематика дисертаційної роботи Шмараєва О.В. направлена на вдосконалення метрологічного забезпечення АСУ біметалічного лиття шляхом розроблення нової методології моніторингу зчеплення сталєво-алюмінієвих виливок з використанням новітніх вимірювальних і інформаційних технологій.

Тому вважаю, що наукові дослідження й технічні напрацювання, виконані автором дисертації, є безперечно актуальними як з наукової, так і з практичної точок зору.



**Зв'язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами, планами, темами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки.**

Дисертаційна робота виконувалась згідно з напрямками наукових досліджень Одеського національного політехнічного університету при проведенні держбюджетних науково-дослідних робіт № 631-24 «Прогнозуючі інформаційні моделі складних об'єктів для систем автоматизованого проектування і управління» (номер державної реєстрації 0108U001196) та №684-31 «Розробка методів підвищення ефективності вітроенергетичних комплексів» (номер державної реєстрації 0113U001454).

**Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.**

Наукові положення кандидатської дисертаційної роботи є новими та забезпечують істотний внесок у розвиток методологічних основ та метрологічного забезпечення АСУ процесами біметалічного лиття шляхом неруйнівного контролю теплових параметрів на базі інформаційних технологій.

Обґрунтованість та вірогідність наукових досліджень, сформульованих у дисертаційній роботі, підтверджується правильним використанням математичних перетворень викладених виразів, достатньою збіжністю результатів теоретичних досліджень і математичного моделювання, а також завдяки експериментальній перевірці системи під час впровадження.

**Достовірність результатів дисертаційної роботи.**

Достовірність наукових результатів визначається математичним апаратом, який використано автором в дисертації. Методи дослідження базуються на основних положеннях теорії метрології та управління якістю, теорії процесів лиття, методах системного аналізу, теорії ймовірності і випадкових процесів, засадах дефектоскопії, методах програмного моделювання з використанням середовища C<sup>++</sup>.

Аналіз висновків по розділах і загальних висновків показує, що вони відповідають отриманим науковим і практичним результатам.

Коректність використання зазначеного математичного апарату підтверджується позитивним досвідом впровадження результатів дисертаційної роботи у виробничій діяльності підприємства, а також у науково-дослідній роботі Одеського національного політехнічного університету.

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

Наукова новизна теоретичних положень дисертації стосується теоретичних засад метрології та метрологічного забезпечення. З точки зору офіційного опонента найвагоміші наукові результати роботи наступні:

- вперше запропоновано метод підвищення точності комплексних вимірювань температури поверхні елементів ливарної прес-форми перед їх збиранням шляхом просторової трансформації лінійного масштабу і кутів направляючих векторів за допомогою спеціальних маркерів, що дозволило поєднати досліджувані відображення, домагаючись збігу відповідних точок;
- отримав подальший розвиток метод уявної моделі об'єкта, за допомогою якої просторово досліджується температурний режим як різновид оберненої задачі, що розглядається по чергово у різних площинах;
- отримав подальший розвиток метод вимірювання границь розташування ділянок незварюваності між елементами біметалевих трубчастих виливок, який полягає в застосуванні обертових щілинних вимірювальних головок відповідної фізичної природи, що дозволило виконувати неруйнівний контроль якості таких виливок з боку внутрішніх важкодоступних порожнин;
- запропоновано метод підвищення точності прийняття рішень за допомогою діаграми зварюваності шляхом вибіркового неруйнівного уточнення результатів вимірювання «зовнішнім» тепловізором, а також ультразвуковим і вихорострумовим давачами наявності внутрішніх порожнин в біметалічних виливках.

### **Практична цінність дисертаційної роботи.**

Результати теоретичних та експериментальних досліджень апробовано та впроваджено наступним чином:

- окреслено проблеми метрології у технологічних процесах біметалічного лиття;
- представлено схему взаємодії структур технічних і організаційних об'єктів ливарного виробництва;
- розроблено схему алгоритму дискретного диференційного перетворення для нерухомого зображення об'єкта;
- розроблено алгоритм побудови діаграми зварюваності;
- розроблено і створено систему біметалічного лиття «COMEAS» із влаштованим вимірювальним комплексом.

Основні положення та результати дисертаційної роботи впроваджені та пройшли апробацію у ДП «Інженерний виробничо-науковий центр лиття під тиском» (м. Одеса) та використані у навчальних процесах Одеського національного політехнічного університету.

### **Структура та зміст дисертаційної роботи.**

Дисертаційна робота Шмараєва Олександра Васильовича є кваліфікаційною роботою, виконаною індивідуально у вигляді рукопису, що складається з вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаної літератури з 177 найменувань на 21 сторінці та 2 додатків на 19 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 169 сторінок: основний текст на 129 сторінках, 51 рисунок, містить 16 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано наукову проблему досліджень, показано зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами, поставлені мета і задачі дослідження, відзначено наукову новизну та практичну цінність отриманих у роботі результатів, а також наведено дані про особистий внесок здобувача, апробації результатів, публікації, обсяг і структуру дисертації.

У **першому розділі** проведено аналіз відомих підходів із реалізації метрологічного забезпечення управління технологічними процесами біметалевого лиття з точки зору гарантування якості кінцевих продуктів.

Розглянуто технічні та технологічні аспекти процесів біметалічного лиття, що регулюються за допомогою традиційної АСУ. При цьому зосереджуються на двох критичних точках контролю: температурах заливання алюмінію і твердої сталевій вставці, а також на фотографуванні і аналізі перерізу виливки. Описано стадії процесів лиття радіатора, основу якого складає сталеві вставка, а інші частини – біметалічні алюмінієві виливки. Головними завданнями даної технології вважаються: чітке визначення параметрів лиття і їхня стабільність та можливості отримання біжучих даних про дефекти лиття і геометричні параметри виливок. Для якісної реалізації процесів лиття доцільно вдосконалити метрологічне забезпечення, що супроводжує виконання обох цих завдань. Це дозволить запобігти механічному стисканню чи зварюванню елементів конструкції радіатора, появі своєрідних тріщин між елементами даної конструкції, що погіршує ефективність радіатора в якості опалювального устаткування.

Отже, доцільно контролювати температуру елементів конструкції радіатора та рівень зварюваності цих елементів між собою. У першому випадку варто брати до уваги безпосередню недоступність об'єктів контролю та необхідність забезпечення високої точності вимірювань. Щодо другого випадку – розглянуто можливість застосування ультразвукового методу контролю зварюваності елементів радіатора, що не забезпечуватиме дослідження всіх точок контактної поверхні і є складним у реалізації. Привабливіше виглядає використання методів неруйнівного контролю. З точок зору ціни устаткування і рівня підготування досліджуваного об'єкта, слід звернути увагу на вихорострумний метод діагностики, що характеризується високими швидкістю і точністю вимірювань.

Розглянуто аспекти здійснення переплавлення мідного лому на литі мідні аноди та особливості виникнення поверхневих і прихованих дефектів. Контроль таких дефектів на даний момент доцільно виконувати за допомогою спектрального методу аналізу, хоча і тут має місце низька інформативність між хімічним складом і електротехнічною якістю анода.

Часто вимірювальні дані представляють собою великий об'єм, наприклад відеопотік зображення, про характер якого можна судити лише після його опрацювання. При цьому застосовують метод експертних оцінок, коли оцінку ступеня незвареності між елементами біметалів проводять на основі аналізу фотографії. До недоліків даного методу відносять: той факт, зона незвареності являє собою тривимірну поверхню, формула показника – ступінь незвареності – неточно відображає неякість об'єкта контролю, метод містить велику кількість етапів перетворення, що призводить до великої сумарної похибки експертної оцінки. Також описано можливість використання аналізатора фрагментів мікроструктури твердих тіл SIAMS 700, який на жаль не підходить для оцінки зображень з використанням просторів з дробовими розмірностями.

У **другому розділі** представлено теоретичні основи нового методу контролю параметрів біметалічного лиття за допомогою дослідження і опрацювання даних цифрового зображення контактних з'єднань.

Проведено класифікацію проблематики метрологічного забезпечення технологічних процесів біметалічного лиття з огляду на особливості перебігу, отримання первинної інформації, її достовірність та методи опрацювання з метою контролю і оцінювання якості кінцевого продукту.

Розглянуто схему теплообміну під час затвердження біметалічної виливки, на основі чого сформульовано основні вимоги до процесу лиття, точки контролю і вимірювальні засоби для моніторингу якості лиття.

Показано три характерних ділянки, що описують три особливі ділянки, котрі відображають зміни перколяційної характеристики формувальної комбінованої суміші двох компонентів з різними теплопровідностями.

Запропоновано застосування тепловізора ТН-9100 для контролю температури досліджуваного об'єкта на різних етапах технологічного процесу.

Введено поняття коефіцієнта  $S$ , котрий характеризує яскравість зображення об'єкта вимірювання, за допомогою якого аналізують якість досліджуваного з'єднання.

Розроблено алгоритм дискретного диференційного перетворення нерухомих зображень як сукупності коефіцієнтів  $D_{i,j}$ , за допомогою яких характеризують відеопотік даних, отриманий у процесі біметалічного лиття. При цьому, дослідження відносної площі поверхневих дефектів у біметалічних виробках виконується шляхом комп'ютерного опрацювання кольорової цифрової фотографії відповідної поверхні. Аналізується двовимірне цифрове зображення, яке сприймається як паралелепіпед видимого світла. Нагрівання зразка сприймається в інфрачервоній області спектру випромінювання, у якій виявляють дефектні ділянки, що відрізняються від так званого «паралелепіпеда якості». При цьому виявляють кількість «бракованих пікселів», за допомогою яких виявляють технологічні дефекти лиття. Показано, що похибки вимірювань відповідних параметрів не перевищують 3%.

**Третій розділ** присвячено метрологічному забезпеченню АСУ технологічними процесами лиття біметалевих сталєво-алюмінієвих виливок.

Розроблена модифікована схема АСУ технологічним процесом лиття біметалічних виливок, що починається з попереднього прогрівання сталюї вставки, котре описується вектором  $r \{x, \lambda, q\}$ . Пропонується шукати оптимум даної функції неаналітичним методом – перебору. При цьому задають початкове рішення, розраховують  $r_n$  і порівнюють його з областю допустимих значень  $r$ , виходячи із змін  $q \in Q$ . Аналогічно слід поступати і з іншими змінними, що традиційно важко вирішити на практиці. Запропоновано формувати в АСУ уявну модель, у якій пікселі одночасно відображають координати, яскравість і розмір об'єкта – біметалічної вставки. Це дозволяє

вирішувати поставлену задачу – знаходження розв’язків за обома різними змінними – спочатку на етапі квазіоптимізації, а потім на етапі фінішного переходу. Отже, процес управління здійснюється при змінній у часі керувальній дії  $\Delta q(\tau)$  та змінному результаті  $r(\tau)$ . А вектори параметрів  $x$  та  $\lambda$  вважаються незмінними.

Коли йдеться про управління нагріванням сталльної вставки у печі, основним проміжним результатом вимірювання є термограма поверхні вставки, по якій приймається рішення щодо продовження процесу. Для цього контролюють спеціальний параметр – диференційний критерій термічного стану  $K_{ППдиф}$ .

На другому важливому етапі на вході системи знаходяться два зображення: підігрітої сталльної вставки і охолодженої прес-форми. При цьому, виходячи з точок взаємної прив’язки, суміщають ці два зображення, отримані за допомогою тепловізора. Для оцінювання якості виливки розраховують коефіцієнт зварюваності  $K$  на основі результатів дискретних диференційних перетворень 1-го (для вставки) і 2-го ступенів (для прес-форми). Результат знаходять шляхом попіксельного опрацювання зображень, на основі чого будують діаграму зварюваності. За кольорами діаграми можна прогнозувати зони низької і високої якості зварення.

Запропоновано розподіл цифрового відеопотоку прес-форми на п’ять окремих частотних каналів, завдяки чому підвищено чутливість зображення до випромінювань із середньою температурою пікселя в  $0,01 K$ . Метрологічні характеристики отриманих даних щодо кінцевого продукту цілком прийнятні для сфери будівельної галузі.

Для отримання точних границь зварюваності було використано ультразвукову дефектоскопію, що дозволило фіксувати площі незвареності в  $0,02 \text{ см}^2$ . Порівняння результатів цього методу з розрахованою вище незварюваністю біметалевих деталей показало правильність наведених вище розрахунків і моделей. Так само проводилось порівняння кривих незвареності біметалевих деталей і бездефектного виливання за допомогою вихорострумового методу, що також підкреслило достовірність отриманих вище результатів.

У **четвертому розділі** автором представлено практичні результати впровадження системи бездефектного лиття «COMEAS» разом із комплексом заходів стосовно її метрологічного забезпечення.

Розроблена система біметалічного лиття «COMEAS» із влаштованим вимірювальним комплексом, котрий містить, два тепловізора, цифровий фотоапарат, ультразвуковий і вихорострумний прилади. Останні використовуються епізодично, в разі потреби. Це дозволяє пришвидшити виконання технологічних процесів і зменшити енергетичні і технологічні втрати. Крім того, можна постійно збирати інформацію і застосовувати її надалі для навчання АСУ. В роботі використовували тепловізор ТН-9100, що працює у спектральному діапазоні 8-14 мкм. Також у комплект підсистеми входять ультразвукові дефектоскопи: *Olympus OmniScan MX2* та типу УД-1 NOVOTEST. У переліку вимірювальної частини АСУ є вихорострумний дефектоскоп Miz 28, котрий призначений для швидкого і ефективного дослідження труб у теплообмінниках. Дані прилади супроводжуються сучасним програмним забезпеченням у складі розробленої системи «COMEAS», завдяки якій налагоджено випуск бездефектних виливків секцій радіатора опалення.

У **висновках** наведено найбільш важливі наукові та практичні результати, які були отримані під час проведених досліджень.

**Додатки** містять допоміжну інформацію стосовно наукових досліджень та акт впровадження отриманих у дисертаційній роботі результатів.

#### **Повнота висвітлення основних результатів.**

Основні положення дисертаційної роботи відображені у 21 науковій роботі, серед яких 7 статей у спеціалізованих фахових виданнях України, а 4 праці входять до міжнародних наукометричних баз. Апробація основних наукових положень дисертації проведена на 14 міжнародних та національних науково-технічних конференціях і семінарах, що відповідають тематиці роботи і проводились в Україні і за кордоном.

#### **Ідентичність змісту автореферату дисертації.**

Зміст автореферату повністю ідентичний змісту та основним положенням дисертації.

#### **Зауваження до змісту дисертації**

1. На с. 19 дисертації треба було б роз'яснити, що мається на увазі під «поточними даними про наявність дефектів виливків» та «геометричними параметрами виливків», які автор пропонує витримувати «в реальному часі виробництва». Адже ці дані можна отримувати тільки наприкінці технологічного процесу лиття, коли управляти ними вже запізно;



2. Не зрозуміло чому на с. 49 (передост. абзац) вживається вираз «об'єкти ливарного виробництва розглядали в якості стохастичних фракталів», а в наступному абзаці – «повторення фракталом самого себе на різних рівнях»;

3. Термін «таку характеристику фракталів, як ентропійну фрактальну розмірність», наведений на с. 51, є невдалим;

4. Рівняння (2.6) і (2.7) (с. 53. 54), які характеризують граничні стани процесу (коефіцієнт  $S$ ), мали б більше відрізнятись між собою, наприклад у виразах диференційних рівнянь, які прирівняно до нуля;

5. Доцільно було б більше уваги приділити обґрунтуванню зони спектру на рис. 2.14 (с. 66), яка відповідає заданому рівню якості – йдеться про співвідношення числового параметра і відтінків спектру;

6. На рис. 3.5 (с. 79) наведена схема управління підігріванням сталевій вставки в нагрівальній печі, що ґрунтується на опрацюванні відображень від поверхонь вставки, а принцип управління температурним режимом зводиться до регулювання єдиного параметра – напрузі в мережі живлення печі. Як це впливатиме на рівномірність нагрівання поверхонь – головного чинника отримання якісних виливок?

7. Варто було б детальніше показати числові дані до рівнянь (3.5) щодо отриманої точності суміщення тепловізійних зображень згідно рис. 3.6;

8. Чи проводились статистичні дослідження стосовно прогнозів отримання бездефектних біметалевих виливок, контролю діаграм зварюваності для великого числа виливок, ймовірного закону розподілу дефектів?

9. Чи варто було вдосконалювати функціонування АСУ процесами біметалевого лиття шляхом використання самонавчальних нейромереж?

10. Чи досліджувався вплив на якість біметалевих виливок тих чи інших домішок у метали, сталеву вставку і прес-форму, які використовувались?

### **Висновок.**

Вказані зауваження не відносяться до основних наукових положень дисертації та не впливають на загальну оцінку роботи і її наукову цінність.

Дисертаційна робота Шмараєва Олександра Васильовича «Метрологічне забезпечення системи управління якістю біметалевих виробів» є завершеним науковим дослідженням, яке може слугувати покращанню метрологічного забезпечення управління якістю процесів ливарного виробництва для підприємств енергетичного комплексу завдяки запровадженню нових методів

та методик неруйнівного контролю зварюваності елементів конструкції радіаторів за допомогою сучасних технологій опрацювання даних.

Мета роботи, поставлені та розв'язані в ній задачі, викладені основні наукові результати дозволяють зробити висновок про те, що дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

Зміст дисертаційної роботи свідчить про високий рівень кваліфікації автора, як наукового співробітника, здатного формулювати та розв'язувати складні науково-прикладні задачі. Дисертаційна робота Шмараєва Олександра Васильовича за актуальністю теми, науковою новизною та практичною цінністю отриманих в ній результатів досліджень відповідає вимогам пунктів 9, 11, 13 “Порядку присудження наукових ступенів” Міністерства освіти і науки України, а її автор заслуговує присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.01.02 – стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення.

**Офіційний опонент:**

**Професор кафедри “Метрологія, стандартизація та сертифікація” Національного університету “Львівська політехніка”, д.т.н., професор**



**Ванько В.М.**

**Підпис Ванька В.М. підтверджую**  
**Вчений секретар Національного університету “Львівська політехніка” д.т.н., доцент**



**Брилинський Р.Б.**