

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертаційну роботу
Романенка Владислава Володимировича
«Інформаційно-вимірювальна технологія контролю якості
виробів адитивного виробництва»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 175 – Інформаційно-вимірювальні технології

1. Актуальність теми дисертації

В умовах сьогодення розвиток інноваційних технологій стимулює модернізацію виробничих процесів у всіх галузях промисловості. Суттєвий інтерес науковців і практиків привертає адитивне виробництво, або 3D-друк, як універсальна технологія виготовлення об'єктів будь-якої складності без використання традиційних форм та інструментів. Водночас, поряд із численними перевагами, адитивне виробництво супроводжується цілим спектром проблем, пов'язаних із забезпеченням стабільної якості виробів. Типовими дефектами є розшарування, недруковані ділянки, зсуви шарів, неправильне дозування матеріалу, перегрів тощо.

Дисертаційна робота Романенка Владислава Володимировича присвячена вирішенню науково-прикладного завдання, яке полягає у розробці інформаційно-вимірювальної технології контролю якості виробів адитивного виробництва, що ґрунтується на сучасних підходах до комп'ютерного зору, штучного інтелекту та математичного моделювання. Тема є надзвичайно актуальною в контексті стрімкого розвитку технологій 3D-друку, зокрема в галузях оборонної, авіаційної, медичної та енергетичної промисловості, де до якості виробів висувуються підвищені вимоги.

Особливу актуальність дослідження зумовлює необхідність підвищення ефективності та надійності процесів адитивного виробництва, які часто характеризуються високою чутливістю до параметрів друку, складності геометрії об'єктів та фізико-механічних властивостей використовуваних матеріалів. Відсутність ефективних засобів контролю якості в реальному часі обмежує застосування 3D-друку в критично важливих галузях. Запропонований в роботі підхід дозволяє не лише автоматизувати контроль, але й знизити втрати матеріалів, зменшити час на виготовлення якісних виробів та підвищити точність виготовлення об'єктів зі складною внутрішньою структурою. Такий підхід дозволяє запобігати накопиченню дефектів, мінімізує кількість браку та забезпечує економічну доцільність впровадження адитивних технологій у відповідальних сферах – авіації, медицині тощо. Обрана тема знаходиться на перетині кількох галузей – комп'ютерного зору, технічної діагностики й неруйнівного контролю, інформаційно-вимірювальних систем, що додатково підкреслює її значущість даного дисертаційного дослідження.

Адитивні технології, зокрема 3D-друк з полімерних матеріалів, характеризуються високим ступенем варіативності параметрів виготовлення (температура, швидкість, геометрія, світловий профіль тощо), що ускладнює застосування традиційних методів контролю. У зв'язку з цим виникає потреба в інтелектуальних системах, здатних до адаптації, навчання та автоматичного прийняття рішень у реальному часі.

Математичне моделювання, що використано в роботі, забезпечує формалізований опис фізичних і технічних процесів, які відбуваються в середовищі адитивного виробництва, зокрема моделювання розподілу освітленості на зображеннях виробів під час друку. Запропоноване автором рівняння на основі модифікованого рівняння Пуассона дозволяє враховувати неоднорідності освітлення і зменшувати похибки при формуванні вхідних даних для нейромережевої обробки.

Зі свого боку, застосування глибоких згорткових нейронних мереж у роботі обумовлене їхньою здатністю ефективно розпізнавати дефекти на цифрових зображеннях складної топології, навіть за умов неповних, шумових або викривлених вхідних даних. Архітектура моделі, запропонована автором, адаптована під специфіку виробів, що мають складну внутрішню структуру, і дозволяє ідентифікувати дефекти різної морфології з високою точністю.

Поєднання методів машинного навчання та математичних моделей фізичних процесів у матеріалах дозволяє підвищити якість і надійність кінцевої продукції. Це значною мірою ще підвищує прикладну цінність дослідження, а також підкреслює його своєчасність та потенціал масштабування на інші сфери.

2. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертаційній роботі Романенка В.В. представлено комплекс науково обґрунтованих результатів, що мають безперечну новизну та становлять вагомий внесок у розвиток галузі інформаційно-вимірювальних технологій, зокрема в частині забезпечення якості процесів адитивного виробництва. Основні елементи наукової новизни полягають у наступному:

– уперше розроблено та теоретично обґрунтовано математичну модель вирівнювання інтенсивності пікселів зображення на основі рівняння Пуассона, що дозволяє ефективно компенсувати неоднорідність освітлення в кадрах відеоспостереження за процесом 3D-друку. Це забезпечує підвищення точності подальшої обробки зображень при автоматизованому контролі;

– уперше обґрунтовано доцільність застосування комплексного підходу, що поєднує математичне моделювання оптичних характеристик, фізичних властивостей матеріалів і алгоритмів глибокого навчання для забезпечення підвищеної достовірності дефектоскопії у виробах складної просторової форми.

– запропоновано новий підхід до структуризації та препроцесингу графічної інформації, що надходить із вбудованих камер 3D-принтерів, з урахуванням просторово-яскравісних характеристик. Реалізований метод дозволяє формувати нормалізовані інформаційні масиви, придатні для подальшої інтерпретації за допомогою методів глибокого навчання.

Серед практично значущих результатів варто відзначити такі:

– удосконалено методику побудови архітектури згорткових нейронних мереж, адаптовану до задач виявлення та класифікації дефектів виробів адитивного виробництва. Зокрема, враховано специфіку геометричних особливостей дефектів та нестабільних умов освітлення в процесі друку;

– розроблено й реалізовано інформаційно-вимірювальну систему, здатну працювати в режимі реального часу та інтегруватися в контури управління якістю 3D-принтера. Система включає адаптивну модульну структуру та підтримку швидкого навчання нейромережових моделей на основі оновлених даних;

– системно узагальнено і доповнено класифікацію дефектів, характерних для виробів адитивного виробництва з полімерних матеріалів, із включенням нових ознак, релевантних для автоматизованого розпізнавання. Це дозволяє використовувати результати дисертації для розширення діючих стандартів контролю якості продуктів адитивного виробництва.

3. Ступінь обґрунтованості та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій

Дисертаційна робота відзначається високим рівнем наукової обґрунтованості. Усі положення, що виносяться на захист, базуються на чітко сформульованих гіпотезах, підтверджених математичним апаратом, логічними висновками та результатами експериментальних досліджень. Автор використовує сучасні програмні інструменти для моделювання, аналізу зображень та реалізації нейромережових структур, що дозволяє відтворити достовірну картину процесів, що досліджуються.

Слід зазначити, що автор не обмежується лише теоретичними викладками. У роботі наведено приклади впровадження запропонованої технології, надано програмну реалізацію алгоритмів, продемонстровано їх працездатність на виробках різного призначення. Ефективність системи підтверджено результатами класифікації дефектів з точністю понад 95%, що є дуже високим показником у цій галузі.

Висновки й рекомендації сформульовано логічно, з дотриманням вимог академічної доброчесності, кожен із них має посилання на конкретний розділ дослідження.

4. Апробація та повнота опублікування результатів роботи

Результати дисертаційного дослідження Романенка Владислава Володимировича пройшли ґрунтовну апробацію в науковому середовищі, що засвідчує їхню актуальність, наукову зрілість та відповідність сучасним напрямкам розвитку інформаційно-вимірювальних технологій і засобів контролю якості. Основні положення та результати дисертації були представлені на провідних міжнародних і всеукраїнських науково-практичних конференціях, що охоплюють тематики метрології, інтелектуальних технологій, адитивного виробництва та комп'ютерного зору.

Зокрема, дисертант взяв участь у таких фахових форумах, як Міжнародна науково-технічна конференція «Інформаційні вимірювальні технології», Міжнародна конференція з інженерії знань і систем штучного інтелекту, а також фахові семінари з технічного діагностування та автоматизованих систем управління. Це дало можливість не лише отримати зовнішню експертну оцінку результатів дослідження, а й забезпечити їх обговорення в широкому науковому колі, у тому числі за участі представників промислових підприємств і освітньо-наукових центрів. Слід також звернути увагу на повноту публікації результатів дослідження: за темою дисертації підготовлено й опубліковано низку наукових праць, зокрема 4 статей у наукових фахових виданнях України, з яких 3 – у періодичних виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України категорії «Б», одна публікація індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus. Усі публікації відображають основні наукові результати дослідження, є релевантними тематиці дисертації та містять апробовані автором підходи, моделі та технологічні рішення. Отже, результати дисертаційної роботи отримали достатню апробацію в академічному середовищі та були повноцінно висвітлені у відкритих джерелах, що відповідає чинним вимогам до дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії.

5. Мова та стиль дисертації й реферату

Дисертація Романенка Владислава Володимировича написана державною мовою, витримана в академічному стилі, що відповідає нормам наукового викладу матеріалу для кваліфікаційних робіт ступеня доктора філософії. Текст дисертації відзначається високим рівнем мовної грамотності, логічною послідовністю викладення, чіткістю структури та аргументованістю наукових положень. Стиль викладу є науково-інформативним, лаконічним, вільним від надмірної емоційності або публіцистичних елементів. У роботі послідовно дотримано термінологічної узгодженості, що є важливим для спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології. Усі технічні терміни, поняття, аббревіатури та математичні позначення подано коректно, з урахуванням

галузових стандартів. Автор демонструє вміння викладати складні технічні рішення й математичні моделі доступною та зрозумілою мовою, не втрачаючи при цьому наукової глибини. Це особливо важливо для міждисциплінарних досліджень, у яких поєднуються методи комп'ютерного зору, штучного інтелекту та прикладної фізики.

6. Практичне значення одержаних результатів

Практичне значення результатів, отриманих у дисертаційній роботі Романенка Владислава Володимировича, є вагомим і підтверджується як можливістю їх безпосереднього впровадження в сучасні виробничі процеси, так і адаптацією для освітніх і наукових цілей. Запропонована автором інформаційно-вимірювальна технологія контролю якості виробів адитивного виробництва забезпечує кращий рівень точності й оперативності ідентифікації дефектів у режимі реального часу. Це відкриває можливості для створення інтелектуальних систем контролю, які можуть бути інтегровані безпосередньо у процеси 3D-друку, знижуючи ймовірність випуску бракованої продукції, зменшуючи матеріальні втрати та підвищуючи продуктивність. Практичну ефективність роботи підтверджено актами впровадження розробленої технології у виробництво елементів для безпілотних літальних апаратів (БпЛА) та обладнання енергетичних систем. Це особливо актуально в умовах сучасних потреб оборонного комплексу України, де оперативність, надійність та якість виготовлення інженерних компонентів мають критичне значення. Результати дослідження можуть бути використані як для автоматизації контролю в умовах малосерійного виробництва, так і для масштабування у великосерійні виробничі лінії з використанням різних типів адитивних технологій.

Окрім того, практичне значення має також методологічна складова дисертації. Розроблені автором алгоритми обробки графічної інформації, моделі глибокого навчання та математичні процедури препроцесингу можуть бути використані як основа для створення навчальних модулів, лабораторних стендів та прикладних дослідницьких проєктів у вищій технічній освіті. Результати дисертації вже частково впроваджено в навчальний процес при підготовці фахівців зі спеціальності 122 – «Комп'ютерні науки», що підтверджує освітню цінність роботи.

7. Оцінка змісту дисертації, її відповідність спеціальності

Зміст дисертації повністю відповідає заявленій спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології. Об'єктом дослідження в роботі є процеси контролю якості виробів адитивного виробництва на основі цифрових зображень, а предметом – методи, моделі та засоби автоматизованої обробки

графічної інформації для виявлення дефектів у режимі реального часу, що прямо корелює з проблематикою інформаційно-вимірювальних систем.

Зміст дисертації охоплює повний цикл розв'язання науково-прикладної задачі: від постановки мети, огляду існуючих підходів і обґрунтування доцільності нового рішення – до формалізації методів, створення моделей, реалізації програмного забезпечення та підтвердження ефективності засобів контролю експериментальними даними. Автор виявив високий рівень володіння методами комп'ютерного зору, алгоритмами штучного інтелекту, математичним моделюванням оптичних характеристик систем, а також засобами побудови інформаційно-вимірювальних комплексів, що є фундаментом спеціальності 175.

Робота має міждисциплінарний характер дослідження, який поєднує класичні положення метрології, сучасні методи машинного навчання та знання у сфері матеріалознавства. Такий підхід розширює інструментарій сучасних інформаційно-вимірювальних технологій та дозволяє адаптувати систему під специфіку конкретного виробничого процесу.

Слід також відзначити, що всі положення, винесені на захист, логічно пов'язані з основними завданнями дослідження, обґрунтовані та підтверджені результатами численних експериментів. Робота має чітку логічну структуру: вступ, п'ять основних розділів, висновки та додатки. Кожен розділ розкриває ключовий етап дослідження та містить належне теоретичне, експериментальне та аналітичне обґрунтування.

Дисертація відповідає тематиці, методології та вимогам до кваліфікаційних наукових досліджень зі спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології, має завершений характер і демонструє високий рівень наукової зрілості здобувача.

8. Недоліки та зауваження до дисертації

Попри високий загальний рівень роботи, до неї є деякі незначні зауваження:

1. у роботі недостатньо детально проаналізовано та зіставлено ефективність запропонованих моделей контролю з сучасними методами детектування дефектів, що базуються на інших архітектурах глибокого навчання таких як YOLO, U-Net, ResNet тощо. Цей порівняльний аналіз дав би змогу обґрунтованіше оцінити переваги й недоліки обраної архітектури;
2. було б корисно доповнити дослідження економічною оцінкою, наприклад, зменшенням витрат, підвищенням продуктивності, скороченням браку тощо в результаті впровадження запропонованої технології. Це дало б змогу побачити з практичної точки зору розроблену автором інформаційно-вимірювальну технологію;

3. частину рисунків 3.14–3.34 можна було б винести до додатків, оскільки вони є реальними фізичними експериментами, які доповнюють дану роботу до завершеності, а не демонструють роботу розробленої інформаційно-вимірювальної технології загалом;
4. у дисертації наявні незначні орфографічні помилки, які не впливають на загальне сприйняття поданої автором роботи.

Вказані вище зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують наукової та практичної цінності роботи.

9. Загальна оцінка та висновки

Дисертаційна робота Романенка Владислава Володимировича «Інформаційно-вимірювальна технологія контролю якості виробів адитивного виробництва», що виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне науково-технічне завдання підвищення ефективності та точності контролю якості виробів у процесі 3D-друку полімерними матеріалами. Робота відзначається високим рівнем теоретичного обґрунтування, продуманістю інженерної реалізації та глибоким опрацюванням експериментального матеріалу.

Зміст і методологія роботи повністю відповідають спеціальності 175 – Інформаційно-вимірювальні технології та вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, зі змінами), а її структура й стиль викладення – наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» в частині вимог до оформлення дисертаційних досліджень на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

З урахуванням зазначеного, а також висловлених зауважень, які мають частково дискусійний характер, вважаю, що дисертація Романенка Владислава Володимировича заслуговує позитивної оцінки, а її автор – присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 175 – Інформаційно-вимірювальні технології.

Опонент:

Завідувач кафедри комп'ютеризованих електротехнічних систем та технологій
Державного некомерційного підприємства «Державний університет «Київський авіаційний інститут»,
доктор технічних наук, професор



Володимир КВАСНІКОВ