

## **ВІДГУК**

### **офіційного опонента**

доктора філософії, доцента, завідувача кафедри інженерії програмного  
забезпечення та кібербезпеки

Державного торговельно-економічного університету

**Десятко Альони Миколаївни**

на дисертаційну роботу **Олейнікова Івана Анатолійовича** на тему  
**«МЕТОД ТА МОДЕЛЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО  
КЕРУВАННЯ 3D-ДРУКОМ НА ОСНОВІ МАШИННОГО НАВЧАННЯ»**,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань  
12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»

### **1. Актуальність теми дисертації**

Актуальність теми дисертації зумовлена інтенсивним поширенням технологій FDM/FFF-3D-друку у швидкому прототипуванні, малосерійному виробництві, освітніх і прикладних інженерних застосуваннях, що супроводжується зростанням вимог до відтворюваності геометричних і механічних характеристик виробів, технологічної безпечності та ощадливого використання матеріалів і енергетичних ресурсів. Процес пошарового формування виробу наплавленням термопласту є багатоконтурним, а якість результату визначається узгодженою роботою кінематичної системи переміщення, екструзії, термоконтурів, алгоритмів керування та умов експлуатації; навіть незначні відхилення режимів здатні ініціювати дефекти, які швидко розвиваються та накопичуються упродовж друку.

Разом із тим, практика експлуатації побутових і напівпромислових 3D-принтерів з відкритими прошивками засвідчує низку невирішених проблем, що обмежують керованість процесу. По-перше, штатні засоби контролю здебільшого зводяться до порогових перевірок параметрів і базових алгоритмів стабілізації, тоді як дефекти формування виробу часто виявляються із запізненням – після суттєвих витрат часу та матеріалу або вже після завершення друку. По-друге, значний обсяг потенційно інформативних даних (відеоспостереження робочої зони, телеметрія приводів і

термоконтурів, контекст виконання G-коду) залишається недостатньо задіяним у контурі прийняття рішень, а отже не формує повноцінного наглядового зворотного зв'язку.

За цих умов актуальним є створення узгодженого методу та моделі інтелектуального автоматизованого керування FDM/FFF-друком, що спираються на мультимодальний моніторинг і моделі глибинного навчання, забезпечують своєчасне виявлення дрібномасштабних дефектів і формування ризикоорієнтованих керувальних дій, а також придатні до розгортання на обчислювальних платформах класу Raspberry Pi 5 на краю мережі з дотриманням часових обмежень контуру «кадр/телеметрія - дія». Таким чином, обґрунтування та реалізація інтелектуального наглядового контуру керування 3D-друком на основі мультимодального моніторингу є актуальним науково-прикладним завданням.

## **2. Ступінь обґрунтування наукових положень, висновків і рекомендацій, їх достовірність**

Аналіз дисертаційної роботи Олейнікова І. А., а також оприлюднених результатів дослідження у наукових публікаціях, дає підстави стверджувати, що сформульовані наукові положення, висновки та рекомендації є належним чином обґрунтованими, логічно узгодженими та такими, що відповідають поставленій меті й завданням дисертації. Достовірність отриманих результатів забезпечується системним використанням комплексу загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, коректною постановкою задачі, послідовним формалізуванням запропонованих рішень та їх практичною апробацією.

Наукові твердження дисертаційної роботи спираються на сучасні підходи до інтелектуалізації керування технічними системами, методи машинного навчання та комп'ютерного зору, а також на принципи побудови наглядових контурів керування з урахуванням мультимодального моніторингу технологічного процесу. Обґрунтування рішень підтверджується узгодженістю теоретичних положень із запропонованими структурними й



алгоритмічними моделями, а також відповідністю сформованих висновків отриманим результатам дослідження.

Загалом, наукові положення дисертації є актуальними, достатньо аргументованими та характеризуються належним рівнем достовірності, що дозволяє розглядати їх як коректну наукову основу для подальшого розвитку підходів до інтелектуального автоматизованого керування процесом FDM/FFF-3D-друку.

### **3. Повнота викладення основних результатів в опублікованих наукових працях**

Результати дисертаційного дослідження Олейнікова Івана Анатолійовича висвітлено у 10 наукових публікаціях. У тому числі:

- 6 статей у наукових фахових виданнях;
- 4 тези доповідей і матеріали наукових конференцій.

Опубліковані праці відображають основні теоретичні положення, методичні рішення та практичні напрацювання, що становлять зміст дисертації, і забезпечують їх належну апробацію у професійному середовищі.

Ключові результати дослідження доповідалися на науково-практичних конференціях, де були обговорені та отримали схвальну оцінку фахівців. У працях, виконаних у співавторстві, внесок здобувача достатньо чітко окреслено у переліку публікацій, а на захист виносяться авторські розробки, що безпосередньо відповідають меті та завданням дисертаційної роботи.

### **4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації**

*Теоретичне значення результатів дисертації.* У дисертаційній роботі Олейнікова І. А. на тему «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» сформовано теоретично обґрунтовані засади побудови інтелектуального контуру керування процесом FDM/FFF-друку як багатоконтурного технічного об'єкта з відкритими інтерфейсами. Теоретичний внесок полягає у формалізації наглядного керування на основі мультимодального

спостереження технологічного процесу, узгодженні процедур виявлення відхилень із моделлю станів друку та введенні ризикоорієнтованої логіки вибору керувальних впливів, що забезпечує перехід від постфактум контролю якості до керування за поточним станом і прогнозом розвитку аномалій.

*Наукова новизна розробки.* Наукова новизна розробки полягає в удосконаленні підходів до автоматизованого керування 3D-друком шляхом поєднання методів машинного навчання і комп'ютерного зору з регламентованою взаємодією з прошивкою та наглядовими політиками втручання. Запропоновані рішення забезпечують системне узгодження: (1) процедур аналізу відеоданих і телеметрії; (2) оцінювання поточного технологічного ризику; (3) вибору дій керування (зокрема попередження, пауза, аварійна зупинка) залежно від рівня критичності події; (4) фіксації та відтворюваності керувальних рішень у межах аудиту дій.

*Практичне значення результатів дисертації.* Практична цінність одержаних результатів полягає у можливості їх застосування для підвищення надійності та якості FDM/FFF-друку за рахунок раннього виявлення дефектів під час виконання завдання друку та своєчасного формування керувальних впливів, спрямованих на зменшення втрат матеріалу й часу, а також на запобігання аварійним ситуаціям. Запропонований метод і модель придатні для впровадження у складі програмно-апаратних комплексів моніторингу й керування 3D-принтером (зокрема з використанням крайових обчислень), що робить їх релевантними для побутових і напівпромислових установок, навчальних лабораторій, центрів прототипування та малосерійного виробництва.

Загалом, результати дисертації мають як теоретичне значення для розвитку підходів до інтелектуалізації керування технологічними процесами, так і практичну спрямованість, оскільки забезпечують основу для створення прикладних рішень автоматизованого наглядового контролю якості 3D-друку на базі машинного навчання.



## **5. Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам**

Дисертаційна робота Олейнікова Івана Анатолійовича на тему «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» є кваліфікованою науковою працею, у якій розв'язано актуальне науково-прикладне завдання, що має значення для розвитку підходів до автоматизованого керування технологічними процесами у галузі інформаційних технологій.

Текст дисертації викладено українською мовою в науковому стилі, матеріал подано логічно та послідовно. У роботі коректно сформульовано мету й завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, обґрунтовано актуальність, наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів. Наведені наукові джерела відповідають тематиці дослідження та подані з дотриманням усталених вимог до оформлення. Це дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота виконана відповідно до чинних вимог, що висуваються до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія», та є завершеним науковим дослідженням.

## **6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності**

Автор дисертації Олейніков І.А. при виконанні роботи дотримувався принципів та норм академічної доброчесності, тому можна стверджувати, що дисертаційне дослідження є завершеною кваліфікаційною науковою працею.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на наявність академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових та ілюстрованих запозичень, що дозволяє зробити висновок про відсутність порушень академічної доброчесності та дотриманням здобувачем усіх необхідних принципів та норм. Наукові положення, методичні, прикладні розробки, висновки отримані особисто здобувачем.

## 7. Дискусійні положення та зауваження

Відзначаючи наукову новизну та практичну спрямованість дисертаційної роботи Олейнікова Івана Анатолійовича, а також позитивно оцінюючи запропонований ризикоорієнтований підхід до інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком, у якому оцінки візуального стану, телеметрії та контексту G-коду узгоджуються з політиками «м'яких» і «жорстких» дій із гістерезисом та підтвердженням, доцільно звернути увагу на окремі дискусійні положення, що не знижують загальної позитивної оцінки роботи, проте можуть бути враховані під час подальшого розвитку отриманих результатів:

1. У дисертації наведено формалізацію каскадної верифікації та політики керувальної дії з використанням тригерної логіки, згладжування ризику та порогових параметрів, які визначають момент переходу від спостереження до втручання. На мій погляд, доцільним було б більш розгорнуто висвітлити процедуру калібрування зазначених параметрів, а також навести аналіз чутливості результатів до їх зміни для типових сценаріїв друку.

2. Значною перевагою роботи є формування спеціалізованого корпусу даних для автоматизованого контролю FDM-друку, що включає дрібномасштабні дефекти та передбачає протоколи розмітки з поєднанням кадрових міток, рамок детекції, піксельних масок і часових позначок розвитку дефектів. Водночас бажано було б подати у тексті дисертації більш детальні кількісні характеристики цього корпусу, а також окремо висвітлити підходи до контролю якості розмітки для зменшення суб'єктивності у визначенні меж та моменту виникнення дефекту.

3. Автором обґрунтовано вибір базової архітектури ResNet та доцільність каскадної схеми, у якій легша модель виконує первинний тригерний аналіз, а потужніша – уточнення та локалізацію дефектів; при цьому наголошено на стабільності ResNet після квантування і прунінгу та придатності для реалізації на краєвих платформах. Оскільки у роботі також досліджено вплив оптимізацій конвеєра на точність і латентність інференсу на



Raspberry Pi 5, доцільним видається розширити порівняльне експериментальне обґрунтування за рахунок систематизованого зіставлення кількох каскадних конфігурацій в тому числі різні рівні «легкої/важкої» моделі та подати узагальнені рекомендації щодо меж застосовності «поточного» і «міжшарового» аналізу для різних типів дефектів і швидкостей друку.

#### **8. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам**

Ознайомлення з дисертацією, анотацією та опублікованими працями за темою дослідження дає підстави зробити висновок, що дисертаційна робота Олейнікова Івана Анатолійовича на тему «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» за змістом і структурою є цілісною, самостійно виконаною кваліфікаційною науковою працею, у якій розв'язано актуальне науково-прикладне завдання підвищення надійності та якості FDM/FFF-3D-друку шляхом побудови інтелектуального наглядного контуру керування на основі мультимодального моніторингу та моделей машинного навчання. У роботі сформульовано науково обґрунтовані положення, отримано результати, що мають наукову новизну, та наведено практичні рекомендації щодо застосування запропонованого методу і моделі у реальних умовах експлуатації 3D-принтерів.

Отримані результати, висновки та рекомендації є обґрунтованими і достовірними, а опубліковані наукові праці достатньою мірою відображають зміст дисертації, її ключові положення, основні результати, наукову новизну та практичне значення. Поставлену мету дисертаційного дослідження досягнуто, визначені завдання – вирішено.

За актуальністю теми, рівнем обґрунтованості наукових положень, ступенем наукової новизни, теоретичним і практичним значенням одержаних результатів, а також за оформленням і структурою дисертаційна робота відповідає спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія», вимогам наказу Міністерства освіти і науки України від 12 січня 2017 року № 40 «Про

затвердження Вимог до оформлення дисертації», зареєстрованого в Міністерстві юстиції України 03 лютого 2017 р. за № 155/30023, та вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44. З огляду на зазначене, Олейніков Іван Анатолійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» за результатами захисту поданої дисертації.

**Офіційний опонент:**

доктор філософії, доцент,  
завідувач кафедри інженерії  
програмного забезпечення та  
кібербезпеки

Державного торговельно-  
економічного університету

Альона ДЕСЯТКО

