

Відгук

офіційного опонента

кандидата технічних наук, доцента, завідувача кафедри інформаційної та кібернетичної безпеки імені професора Володимира Бурячка
Київського столичного університету імені Бориса Грінченка,

Складаного Павла Миколайовича

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

Сучасний етап розвитку адитивних технологій характеризується інтенсивним поширенням 3D-друку за технологіями FDM/FFF у швидкому прототипуванні, малосерійному виробництві, освітніх та прикладних інженерних застосуваннях, що супроводжується зростанням вимог до відтворюваності геометричних і механічних характеристик виробів, технологічної безпечності, а також ощадного використання матеріалів і енергетичних ресурсів. Процес пошарового формування виробу наплавленням термопласту є багатоконтурним: якість результату визначається узгодженою роботою кінематичної системи переміщення, екструзії, термоконтурів, алгоритмів керування та умов експлуатації; водночас навіть незначні відхилення температури, подачі філаменту, стану механіки, якості електроживлення або параметрів охолодження здатні спричиняти дефекти, що швидко розвиваються та накопичуються упродовж друку.

Актуальність теми зумовлена наявністю низки невирішених проблем у практиці експлуатації побутових і напівпромислових FDM/FFF-принтерів. Зокрема, штатні засоби контролю переважно зводяться до порогових перевірок параметрів і базових алгоритмів стабілізації температури, тоді як дефекти формування виробу часто виявляються запізно – після суттєвих витрат часу та матеріалу або навіть після завершення друку. Це обмежує керованість процесу, ускладнює забезпечення відтворюваності результатів і

підвищує ризики браку та аварійних ситуацій, особливо в умовах варіативності властивостей філаменту, зношування механіки та впливу зовнішнього середовища.

У цьому контексті своєчасним і практично значущим є перехід від переважно реактивного порогового контролю до автоматизованого наглядного контуру, здатного виявляти дрібномасштабні дефекти на ранніх стадіях і формувати ризикоорієнтовані керувальні дії в режимі, наближеному до реального часу. Запропонований у дисертаційній роботі підхід передбачає використання відеопотоку та технологічної телеметрії з подальшим застосуванням моделей глибинного навчання класу ResNet, розгорнутих на вбудованій платформі Raspberry Pi 5 на краю мережі, що забезпечує оперативність реагування та придатність до реальних умов експлуатації.

Таким чином, дисертаційне дослідження Олейнікова Івана Анатолійовича, спрямоване на розроблення методу та моделі інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання, є актуальним, теоретично обґрунтованим і має виразне практичне спрямування на підвищення якості, безпечності та ресурсної ефективності процесів FDM/FFF-друку.

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

Аналіз дисертаційного дослідження Олейнікова І. А., та публікацій дає підстави стверджувати про належний рівень обґрунтованості й достовірності викладених наукових положень і сформованих висновків. Достовірність результатів забезпечено коректним визначенням об'єкта й предмета дослідження, комплексним застосуванням методів системного аналізу та теорії автоматичного керування, елементів теорії ймовірностей і математичної статистики, методів машинного та глибинного навчання, а також методів цифрової обробки сигналів і зображень.

Наукові положення є достатньо обґрунтованими та актуальними.

3. Повнота викладення основних результатів в опублікованих наукових працях

Основні результати дисертаційного дослідження опубліковано в 10 наукових публікаціях. У тому числі:

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

Ключові теоретичні засади, методичні підходи та практичні результати дослідження доповідалися на науково-практичних конференціях, де отримали позитивну оцінку.

Внесок автора у роботи, опубліковані у співавторстві достатньою мірою конкретизовано в переліку наукових праць. На захист дисертації виносяться авторські розробки.

4. Теоретичне та практичне значення результатів дисертації

Теоретичне значення результатів дисертації. Розроблена в дисертаційній роботі І. А. Олейнікова «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» сукупність наукових положень формує теоретичну основу для побудови замкнених інтелектуальних контурів наглядного керування процесом FDM/FFF-друку на базі мультимодального моніторингу та моделей комп'ютерного зору.

Теоретичне значення полягає в удосконаленні моделі інтелектуального наглядного контролю та ризикоорієнтованого підходу, за яким оцінки візуального стану, телеметрії та контексту G-коду відображаються в індикатори ризику й узгоджуються з політиками «м'яких» і «жорстких» дій із підтвердженням та гістерезисом.

Наукова новизна основних результатів конкретизується також формуванням спеціалізованого корпусу даних із ризик-орієнтованою вибіркою та протоколами розмітки; обґрунтуванням каскадної побудови моделей ResNet, а також формалізацією політик втручання для інтеграції з прошивками Marlin і Klipper.

Практичне значення результатів дисертації. Основний прикладний результат полягає у створенні комплексної архітектури інтелектуального автоматизованого керування процесом FDM/FFF-3D-друку на основі методів машинного навчання, впровадження якої забезпечує своєчасне виявлення дефектних станів у ході друку та зменшує обсяг непродуктивних витрат часу і матеріалу. Розроблені алгоритми та програмні засоби орієнтовано на роботу в умовах обмежених обчислювальних ресурсів краєвих пристроїв і передбачають інтеграцію відеомоніторингу, телеметрії та контексту траєкторії друку з формуванням керувальних впливів (попередження, пауза, зупинка) відповідно до оціненого рівня ризику. Практична значущість підтверджено результатами експериментальної апробації запропонованих рішень на лабораторних стендах 3D-друку та під час перевірки працездатності програмно-апаратного прототипу. Результати наукових досліджень впроваджено в Інституті телекомунікацій і глобального інформаційного простору а також в навчальний процес ДУІКТ

Розроблений комплекс методів і рішень може бути впроваджений на підприємствах та в сервісних центрах адитивного виробництва з метою підвищення стабільності процесів друку та поліпшення якості продукції, а також використаний науково-дослідними установами для створення й апробації систем інтелектуального контролю технологічних процесів. Окремі підходи до аналізу даних і підтримки прийняття рішень можуть бути модифіковані для застосування в задачах наглядного контролю в суміжних прикладних сферах, де важливими є своєчасне виявлення відхилень та регламентоване управління перебігом технологічного циклу.

Джерельною та емпіричною базою дослідження є сукупність наукових праць і нормативно-технічних матеріалів з адитивного виробництва, офіційна документація та відкриті програмні репозиторії, пов'язані з прошивками й інтерпретацією G-коду, а також результати власних експериментальних досліджень і протоколів випробувань; у дисертації наведено список використаних джерел обсягом 91 найменування.

Крім того, дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідної роботи кафедри Технологій цифрового розвитку Державного університету

інформаційно-комунікаційних технологій «Підвищення ефективності процесу управління 3D принтером з використанням методів машинного навчання» (державний реєстраційний номер РК 0124U001849), що забезпечило організаційно-методичну основу та тематичну спрямованість проведених досліджень.

5. Відповідність дисертаційної роботи встановленим вимогам

Дисертаційна робота Олейнікова І. А. «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» є кваліфікованою науковою працею.

Текст роботи викладено українською мовою в науковому стилі. У дисертації логічно та послідовно сформульовано мету та завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет, наведено обґрунтування актуальності та наукової новизни, а структура роботи відповідає типовим вимогам до кваліфікаційних праць. Наукові першоджерела відповідають тематиці дисертації та використані з належним бібліографічним опрацюванням.

Це дозволяє стверджувати, що робота виконана у відповідності з вимогами та нормами до дисертаційних робіт за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія», галузь знань 12 «Інформаційні технології».

Дисертаційна робота Олейнікова І. А. «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» є кваліфікованим завершеним науковим дослідженням.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

Автор дисертації Олейніков І. А. при виконанні роботи дотримувався принципів та норм академічної доброчесності, що задекларовано в поданому рукописі: дисертація містить результати власних досліджень, а використання ідей, результатів і текстів інших авторів супроводжується посиланнями на відповідне джерело.

За підсумками аналізу дисертаційного дослідження підтверджено коректність оформлення посилань на використані джерела, що дозволяє зробити висновок про відсутність ознак порушення принципів академічної доброчесності та дотримання здобувачем установлених етичних норм і вимог. Наукові положення, методичні та прикладні розробки, а також висновки в дисертації подано як такі, що отримані особисто здобувачем.

7. Дискусійні положення та зауваження

Поряд із позитивною оцінкою дисертаційної роботи, за результатами її вивчення необхідно висловити наступні дискусійні положення та зауваження.

1. У першому розділі дисертаційної роботи, де подано огляд предметної області та аналіз наявного програмного забезпечення та обґрунтування вибору базових архітектур комп'ютерного зору, автор окреслює загальні підходи до ШІ-контролю 3D-друку. Було б доцільно подати більш деталізоване порівняння альтернативних архітектур і сервісів контролю, а також чіткіше сформулювати аргументацію вибору ResNet як базової архітектури для задач аналізу зображень у контексті заявлених вимог до латентності та точності.

2. Описуючи у другому розділі питання робастності, узагальнюваності та стратегій навчання нейромережевої моделі, автор зосереджується на суттєвих аспектах адаптації до дрібних дефектів і узагальнюваності. Разом з тим, заслуговує на увагу розширення кількісного аналізу стійкості моделі до доменного зсуву, зокрема через формалізацію протоколів валідації між різними принтерами та сценаріями, а також наведення чітких критеріїв прийнятності для практичного застосування.

3. У третьому розділі, при викладенні розробки інформаційної технології та інтеграції з контуром керування на базі Raspberry Pi 5, Marlin і Klipper, автор описує загальну логіку взаємодії та уніфікацію сценаріїв керування. Варто детальніше висвітлити формалізацію інтерфейсу «кадр – рішення – дія» з точки зору часових обмежень і гарантій безпечності: правила переходів

між режимами, механізми відновлення стану, а також контроль впливу мережних затримок і втрат зв'язку на детермінованість керувальних рішень.

4. При висвітленні експериментальної частини, де виконано формування наборів даних, відпрацювання контрольованих сценаріїв дефектів і оцінювання якості виявлення, підкреслюється комплексність дослідного дизайну. Доцільним видається подальше уточнення питань відтворюваності експериментальних досліджень, а також розширення аналітичної частини шляхом проведення абляційних досліджень і аналізу типових помилок моделі з обґрунтуванням причин хибних спрацювань та пропусків для різних класів дефектів.

8. Загальний висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

Вивчення дисертації, анотації та публікацій за темою дослідження дозволяє зробити висновок, що дисертаційна робота Олейнікова Івана Анатолійовича «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» за змістом і структурою є цілісною, самостійно виконаною кваліфікаційною науковою працею. У ній наведено науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень щодо розроблення методу та моделі інтелектуального автоматизованого керування процесом FDM та FFF 3D-друку на основі машинного навчання, зокрема щодо побудови наглядного контуру контролю, формалізації ризикоорієнтованих політик втручання та інтеграції мультимодальних даних відеопотоку, телеметрії й параметрів траєкторії за G-кодом для своєчасного виявлення та верифікації дефектних станів. Запропоноване рішення має можливість ефективно розпізнавати типові аномалії процесу 3D-друку, оцінювати технологічний ризик і формувати обґрунтовані керувальні дії у вигляді попередження, паузи або зупинки з урахуванням поточного стану процесу, що сприяє підвищенню стабільності друку та якості готових виробів.

Отримані результати та запропоновані дисертантом рішення, висновки і рекомендації є достовірними та обґрунтованими, що підтверджується

коректним використанням математичного апарату та результатами імітаційного моделювання. Опубліковані наукові праці, серед яких статті у фахових виданнях та матеріали міжнародних конференцій, повною мірою відображають зміст дисертації, головні результати дослідження, наукову новизну та практичну значущість роботи.

Мета та завдання, поставлені у дисертаційній роботі в цілому досягнуті та вирішені. За змістом, оформленням, актуальністю, обґрунтованістю вирішення наукових проблем, рівнем наукової новизни, теоретичним та практичним значенням одержаних результатів представлена дисертаційна робота «Метод та модель інтелектуального автоматизованого керування 3D-друком на основі машинного навчання» повністю 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 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор Олейніков Іван Анатолійович заслуговує на присудження ступеню доктора філософії в галузі знань 12 «Інформаційні технології» за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія».

Офіційний опонент:

Завідувач кафедри інформаційної та
кібернетичної безпеки
імені професора Володимира Бурячка
Київського столичного
університету імені Бориса Грінченка,
кандидат технічних наук, доцент



Павло СКЛАДАННИЙ

Київський столичний
університет
імені Бориса Грінченка
код ЄДРПОУ 45307965
власний підпис
П. Складанний
Київ проф. Олейніков І.А.