ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Морозової Анни Іванівни «Математичне моделювання поверхонь об'єктів авіаційної промисловості і машинобудівних деталей для реалізації на 3D-принтері», подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації. Останнім часом стрімкий розвиток засобів 3D-друку зумовлює значне зростання сфер застосування 3D-принтерів різних типів. 3D-принтери використовують у медицині для створення протезів і моделей анатомічних елементів, у будівництві для швидкого створення архітектурних елементів (включно мости), у техніці для створення зразків продукції та макетування. Очевидним є той факт, що якість 3D-друку суттєво залежить від геометричних моделей, що використовують для дискретизації у процесі друку. Розроблені на сьогодні методи та підходи мають обмеження щодо моделювання тіл, що мають трансляційні та циклічні типи симетрії, які отримали поширення у сучасній авіації. Теорія R-функцій, що розроблена у науковій школі академіка Рвачова В. Л., дозволяє будувати неявні функції для моделювання складних геометричних об'єктів у конструктивній манері, тобто, з використанням аналогів теоретико-множинних операцій. Можливість використання R-функцій є теоретичним підґрунтям для моделювання тіл довільної складності, але у певних практичних випадках, наприклад, тіла, що мають велику кількість особливостей, подавати лише за допомогою кон'юнкції, диз'юнкції та заперечення не зручно та не ефективно з обчислювальної точки зору. Отже, тема дисертаційної роботи А. І. Морозової, яку присвячено розробці методів моделювання поверхонь об'єктів авіаційної промисловості, є **актуальною**.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи та одержані результати відповідають тематиці наукових досліджень, що виконуються в Інституті проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного Національної академії наук України, а саме науково-дослідної роботи «Розробка методів дослідження фізичних процесів в енергетичних установках на основі теорії R-функцій» (№ ДР 0117U007204, 2016–2020 рр.).

Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Обґрунтованість викладених у дисертаційній роботі положень забезпечено коректністю постановок мети та задач дослідження; використанням відомих методів дослідження; послідовним логічним викладенням матеріалу; порівнянням із результатами інших дослідників; достатньою кількістю публікацій у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України з технічних наук, у виданні, що включено до наукометричної бази Scopus, і апробацією на конференціях різного рівня.

Оцінка змісту дисертації та її завершеність. Матеріал дисертації викладено логічно та завершено. Дисертаційна робота Морозової Анни Іванівни

складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, двох додатків. Загальний обсяг дисертації становить 139 сторінок, 55 рисунків, список використаних джерел містить 75 найменувань. Теоретичний матеріал дисертації проілюстровано прикладами, її структуру професійно скомпоновано, а саму роботу оформлено згідно з вимогами.

Зміст, оформлення дисертаційної роботи та повнота викладення наукових положень відповідають паспорту спеціальності та встановленим вимогам до кандидатських дисертацій згідно з «Порядком присудження наукових ступенів».

Матеріали дисертації достатньо повно викладено у 11 наукових роботах, серед яких 1 стаття у періодичному виданні, що включено до наукометричної бази Scopus, 5 статей у наукових періодичних виданнях, які включено до Переліку наукових фахових видань України та 5 тез доповідей у збірниках праць наукових конференцій.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок із науковими напрямами та науково-дослідними темами. Сформульовано мету, задачі, об'єкт, предмет і методи дослідження. Вказано особистий внесок автора; наведено дані про апробацію та публікацію результатів роботи, її структуру та загальний об'єм.

У першому розділі наведено аналіз особливостей сучасного 3D-друку та споріднених до нього технологій виробництва. Проаналізовано особливості використання різних типів матеріалів для 3D-друку. Зроблено акцент на переваги 3D-друку в авіабудуванні. На ґрунті порівняльного аналізу програм і програмних комплексів для моделювання тривимірних тіл доведено, що методи теорії R-функцій є універсальними, що зумовило їх використання для моделювання поверхонь тривимірних об'єктів у дисертаційній роботі. Обґрунтовано задачі дослідження.

У другому розділі авторка досліджує математичний апарат для геометричного моделювання на базі теорії R-функцій. Проаналізовано основні достатньо повні системи R-функцій. Запропоновано скорочені формули для логічної операції «рівнозначність», які дозволяють обчислювати з меншою кількістю арифметичних операцій відносно формул на базі кон'юнкції та диз'юнкції. Доведено теореми про асоціативність формул для логічної рівнозначності, а також про вигляд похідних за напрямами від виразу для рівнозначності. Розглянуто особливості предикатного завдання геометричних об'єктів, проілюстровано приклади предикатного завдання двовимірних і тривимірних об'єктів. Показано особливості побудови нормалізованих рівнянь геометричних об'єктів.

У третьому розділі розроблено теоретичний базис для аналітичної ідентифікації деталей машин у 3D. Розроблено математичний апарат для моделювання гвинтових поверхонь при реалізації на 3D-принтері, що проілюстровано, зокрема: шнеками з різним кроком закрутки, трубами з локальною закруткою і різними складними перерізами, лампою. Розроблено

математичні та комп'ютерні моделі робочих коліс насосів для реалізації на 3D-принтері.

Четвертий розділ присвячено аналітичній ідентифікації поверхонь літальних апаратів у 3D. Розроблено засоби аналітичної ідентифікації поверхонь безпілотних літальних апаратів для реалізації на 3D-принтері. Запропоновано математичні та комп'ютерні моделі аерокосмічних об'єктів для реалізації технології 3D-друку. Зокрема, розроблено моделі виробів для доставки заданої кількості об'єктів в пункт призначення, виробів з доставки конічних об'єктів в пункт призначення, макети ракет-носіїв і космічного корабля.

У **висновках** зроблено загальну оцінку результатів, отриманих у дисертаційній роботі.

Нові наукові результати дисертаційної роботи. Як основні нові наукові результати, які отримано у роботі, слід зазначити таке:

- отримав подальший розвиток метод R-функцій для поетапної побудови рівнянь тривимірних машинобудівних деталей і авіаційних об'єктів;
- вперше за допомогою конструктивних засобів теорії R-функцій побудовані математичні моделі відкритих і напівзакритих робочих коліс відцентрових насосів з радіальними і криволінійними лопатками;
- досліджено метод побудови рівнянь ГО, які мають гвинтовий тип симетрії, і побудовано математичні моделі шнеків з постійним і змінним кроком закрутки, шнекових завихорювачів, труб з локальною закруткою і скручених труб складного поперечного перерізу зі стінкою заданої товщини;
- вперше за допомогою конструктивних засобів теорії R-функцій розроблено методи побудови рівнянь поверхонь БПЛА різних типів, і виконано їх реалізацію на 3D-принтері;
- вперше при побудові рівнянь поверхонь БПЛА застосовувався блендінг на каркасі;
- вперше за допомогою методу R-функцій побудовано рівняння поверхонь ракет-носіїв, макета космічного корабля, і виконано їх реалізацію на 3D-принтері.

Теоретичне та практичне значення одержаних результатів. Результати, які отримано в дисертаційному дослідженні, у сукупності є вирішенням науково-технічної задачі підвищення ефективності математичного моделювання геометричних об'єктів з реалізацією на 3D-принтері.

Ідентичність змісту автореферату і основних положень дисертації. Автореферат дисертації цілком вірно відповідає структурі й основним положенням дисертації. Стиль і мова викладення теоретичного та прикладного матеріалу спрощують сприйняття дисертаційної роботи. Оформлення дисертації та автореферату відповідає встановленим вимогам і виконано на належному рівні.

Зауваження щодо змісту й оформлення дисертаційної роботи. Визначаючи важливе теоретичне, практичне значення дисертації та новизну

наукових положень, слід також вказати на певні недоліки та окремі дискусійні моменти, до яких можуть бути віднесені такі.

1. У аналізі сучасного стану проблеми було б доцільно висвітлити більш детально граничне подання та порівняти його конструктивні можливості для моделювання поверхонь з використаною авторкою теорією R-функцій.

2. Доведення теореми про асоціативність формули для логічної рівнозначності зроблено тільки для останнього варіанту формули, який є узагальненням першого та третього варіантів, але не зроблено для другого варіанту формули, що включає операції взяття за модулем (водночас опонент згоден, що таке доведення буде аналогічним).

3. Для трансляційних областей запропоновано використовувати часткові суми рядів Фур'є (стор. 70), але не досліджено питання щодо кількості членів ряду, достатньої для якісної трансляції.

4. Незрозуміло, яким чином виконано дискретизації моделей з рис. 3.8 для друку на 3D-принтері, а також доцільно було б висвітлити процес друку лампи, що дозволив її надрукувати без підпирань.

5. У тексті дисертаційної роботи є певна кількість описок і стилістично невдалих конструкцій, які, утім, не мають суттєвого впливу на сприйняття її змісту.

Наведені зауваження не зменшують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи, її наукової та практичної цінності та мають характер побажань щодо подальшого розвитку роботи.

Висновки. Вважаю, що дисертаційна робота А. І. Морозової на тему «Математичне моделювання поверхонь об'єктів авіаційної промисловості і машинобудівних деталей для реалізації на 3D-принтері» є завершеною науковою працею, яку виконано на високому рівні. За актуальністю теми, обсягом виконаних досліджень, новизною, теоретичною та практичною цінністю результатів робота відповідає існуючим вимогам щодо кандидатських дисертацій згідно «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567 із змінами, а її авторка, Морозова Анна Іванівна, заслуговує присудження їй наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:
професор кафедри програмної інженерії
Запорізького національного університету,
доктор технічних наук, доцент С. В. Чопоров

Підпис Чопорова С. В. засвідчую

НАЧАЛЬНИК ВІДДІЛУ КАДРІВ

Я. О. Жаєвська