

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу

Тумарченко Лариси Олександрівни

на тему **«Оптимізація процесу виготовлення анатомічних моделей для
ортопедичної хірургії методом пошарового наплавлення»**,
представлену на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань **13 «Механічна інженерія»**
за спеціальністю **131 «Прикладна механіка»**

Актуальність теми дисертації.

Дисертаційна робота Лариси Тумарченко спрямована на вирішення актуальної науково-прикладної задачі – оптимізації процесу виготовлення анатомічних моделей методом пошарового наплавлення з урахуванням клінічних вимог до них.

Актуальність дослідження підсилюється медичним запитом на науково обгрунтовані підходи до створення високоякісних анатомічних моделей, що забезпечують відповідність специфічним вимогам ортопедичної хірургії. Вважаю, що актуальність цього дослідження підсилюється також військовим станом в країні.

Доступність технології FDM, можливість виготовлення об'єктів складної геометрії та відносно низька собівартість зумовлюють її привабливість для медичних застосувань. Проте відсутність систематизованого підходу до встановлення оптимальних параметрів друку та постобробки з урахуванням комплексу важливих характеристик – точності відтворення, шорсткості поверхні, тривалості виготовлення та механічних властивостей – гальмує широке впровадження технології в клінічну практику.

Важливим аспектом актуальності дослідження є необхідність узгодження клінічних потреб ортопедичної хірургії з технічними можливостями адитивного виробництва. Розроблення математичних моделей, що дозволяють прогнозувати якісні характеристики виробів залежно від технологічних параметрів процесу, формує наукове підґрунтя для оптимізації виготовлення анатомічних моделей у різних клінічних сценаріях – від планових операцій, де першочерговою є точність, до екстрених випадків, які вимагають швидкого виготовлення моделей.

Таким чином, дисертаційне дослідження Лариси Тумарченко має вагоме наукове та практичне значення, оскільки спрямоване на подолання розриву між потенціалом адитивних технологій та їхнім ефективним використанням при виготовленні анатомічних моделей в ортопедичній хірургії. Отримані результати сприяють підвищенню технологічної керованості процесу виготовлення анатомічних моделей, забезпеченню стабільної якості виробів, зменшенню витрат часу та ресурсів, що у підсумку підвищує ефективність хірургічного планування та покращує підготовку фахівців.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Наукова новизна роботи полягає у встановленні комплексних закономірностей впливу параметрів процесу пошарового наплавлення та термічної обробки на функціональні характеристики анатомічних моделей, призначених для використання в ортопедичній хірургії. Зокрема, вперше встановлено закономірності впливу основних параметрів процесу FDM на розмірну точність, шорсткість поверхні, пористість і тривалість виготовлення моделей з різних термопластичних матеріалів. Це дало змогу провести оптимізацію технологічних параметрів відповідно до вимог, яким мають відповідати анатомічні моделі для ортопедичної хірургії. Також автором удосконалено уявлення щодо взаємозалежного впливу параметрів процесу FDM і термічної обробки на якість анатомічних моделей, що дало можливість обґрунтувати необхідність врахування комплексної дії технологічних факторів під час проектування процесу виготовлення цих моделей. Такий підхід забезпечує підвищення ефективності застосування анатомічних моделей у клінічній практиці ортопедичної хірургії. Дослідження також сприяло подальшому розвитку наукових уявлень про оптимальні параметри процесу FDM залежно від обраного термопластичного матеріалу та специфіки клінічного застосування, що дозволило сформулювати обґрунтовані технологічні рекомендації щодо вибору матеріалу, режимів FDM та термічної обробки анатомічних моделей для різних етапів хірургічного планування і навчання.

Належна обґрунтованість та достовірність результатів забезпечена достатньою кількістю практичних та теоретичних дослідів, використанням

різноманітних методичних прийомів аналізу поставлених проблем, достатньою джерельною базою та апробацією отриманих результатів.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Зміст дисертації є логічно структурованим, технічно наповненим та тематично цілісним. Структура побудована за класичною моделлю технічної дисертації:

У вступі обґрунтовано актуальність, чітко сформульовано мету, завдання, об'єкт і предмет дослідження, визначено методи дослідження.

У першому розділі роботи здійснено комплексний огляд сучасного стану адитивних технологій з акцентом на застосування FDM-друку для виготовлення анатомічних моделей у ортопедичній хірургії. Обґрунтовано актуальність використання анатомічних моделей у клінічній практиці, проаналізовано особливості та специфічні вимоги до якості моделей залежно від клінічних сценаріїв. Окреслено перспективи досліджень у галузі термопластів і параметрів FDM та розглянуто методи постдрукарської обробки виробів.

Другий розділ присвячено розробці методологічного підходу до оцінки якості FDM-моделей. Запропоновано систему кількісних показників для характеристики якості друку, обґрунтовано використання планування експериментів для дослідження впливу технологічних параметрів на властивості готових виробів. Описано експериментальні та оптимізаційні підходи з використанням сучасних методів математичного моделювання.

У третьому розділі представлено результати експериментальних досліджень впливу параметрів FDM-друку та режимів термічної обробки на основні характеристики якості анатомічних моделей (точність, шорсткість поверхні, пористість, час виготовлення, механічні властивості). Встановлено кількісні залежності між технологічними режимами та показниками якості, побудовано відповідні математичні моделі, що дозволяють прогнозувати властивості готових виробів.

Четвертий розділ відображає результати оптимізації параметрів процесу FDM для різних клінічних сценаріїв застосування. Сформульовано практичні рекомендації щодо вибору оптимальних режимів друку, проведено

експериментальну валідацію отриманих результатів на прикладі виготовлення моделі поперекового хребця L4.

В цілому, зміст дисертації відповідає обсягу і вимогам до кваліфікаційних наукових праць: загальний обсяг дисертації становить 197 сторінок, у тому числі основного тексту дисертації 163 сторінки, 67 рисунків, 39 таблиць, 7 додатків і список використаних джерел із 92 бібліографічних найменувань. Усі розділи гармонійно взаємодоповнюють один одного та логічно ведуть до висновків.

Слід зазначити, що дисертація має високий ступінь завершеності, що підтверджується:

- досягненням усіх поставлених цілей і завдань;
- проведенням повноцінних експериментальних досліджень у необхідному обсязі;
- розробкою верифікованих математичних моделей процесу FDM;
- формуванням технологічних рекомендацій щодо вибору матеріалів, параметрів процесу FDM та постдрукерської обробки відповідно до вимог клінічних сценаріїв;
- підтвердженням практичним застосуванням наукових розробок для виготовлення анатомічних моделей хребця L4.

Дисертаційна робота отримала позитивний відгук щодо отриманих результатів, підтверджений експертним висновком лікарів АТ «Мотор Січ», що значно підвищує її практичну цінність.

Робота відповідає принципам академічної доброчесності. Так, наявні чіткі посилання на всі використані джерела в огляді літератури, теоретичних положеннях і в аналітичній частині. У вступі та анотації заявлено, що результати дослідження є власними, а ідеї інших авторів наводяться з відповідними посиланнями. Верифікація результатів здійснювалась через апробацію на конференціях, публікації у фахових виданнях та Scopus-індексованому журналі свідчить про відкритість результатів до незалежної експертної оцінки.

Відсутні ознаки порушення норм щодо плагіату, маніпуляцій з результатами або фальсифікації даних. Дисертація містить усі необхідні атрибути самостійного й доброчесного наукового дослідження.

Мова та стиль викладення результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Мова та стиль викладення роботи відповідають сучасним вимогам до академічного письма. Текст побудовано логічно, дотримано норм наукового та технічного викладу.

Теоретичні положення, математичні залежності та результати практичних досліджень викладено чітко, послідовно й аргументовано, без надмірної складності або зайвої описовості.

Висновки та узагальнення ґрунтуються на достовірних даних, представлених у формі таблиць, графіків і моделей, що підтверджує обґрунтованість зроблених тверджень. У викладі вдало поєднано аналітичний підхід із елементами інженерного мислення.

Технічна термінологія, що стосується параметрів процесу FDM, характеристик термопластичних матеріалів та особливостей виготовлення анатомічних моделей, використовується коректно та у відповідності до контексту клінічного й технологічного застосування. Стиль письма витриманий, об'єктивний, без некоректних категоричних суджень або суб'єктивних оцінок.

Кожен розділ дисертації логічно структурований і сприяє цілісному розумінню мети, етапів і результатів наукового дослідження. Загалом робота справляє враження завершеного, глибоко опрацьованого дослідження, виконаного на високому науковому рівні.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Відповідно до вимог щодо оформлення дисертації на здобуття ступеня доктора філософії, результати дослідження пройшли належну апробацію та фахове обговорення на вітчизняних і міжнародних наукових заходах. Зокрема, основні положення роботи були представлені та обговорені на всеукраїнських і міжнародних науково-технічних конференціях та науковому конгресі.

За темою дисертації опубліковано 6 наукових праць, серед яких 4 статті у фахових виданнях України, з них 1 стаття – у виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою Scopus, та 2 тези доповідей. Це свідчить

про наукову апробацію та публічне визнання отриманих результатів у вітчизняному та міжнародному науковому середовищі.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

Незважаючи на загалом високий рівень виконання дисертації, її завершеність, практичну спрямованість та суттєву наукову новизну, варто окреслити окремі зауваження й рекомендації, які не применшують загального позитивного враження від роботи:

1. У дисертаційній роботі для пошуку оптимальних параметрів процесу FDM використано два методи: послідовне квадратичне програмування (SLSQP) та алгоритм диференційної еволюції. Водночас відсутнє обґрунтування, чому саме ці методи було обрано серед можливих алгоритмів оптимізації. Було б доцільно обґрунтувати переваги обраних підходів у контексті специфіки дослідження.

2. У роботі оцінка точності проведена окремо вздовж трьох координатних осей, що забезпечує детальний аналіз просторового розподілу відхилень. Водночас доцільно було б додатково використовувати безрозмірний загальний коефіцієнт точності (наприклад, відносну середньоквадратичну похибку або інтегральний показник збігу геометрії), що забезпечує більш узагальнену і наочну оцінку відповідності моделі еталону.

3. У сучасних дослідженнях технології пошарового наплавлення застосовується широкий спектр схем заповнення внутрішнього об'єму моделі, зокрема прямолінійна, концентрична, крива Гілберта, трикутна, гексагональна, зореподібна тощо. У дисертаційній роботі розглянуто лише три з них – прямолінійну, концентричну та криву Гілберта, однак вибір саме цих варіантів заповнення не отримав достатнього обґрунтування. Доцільно було б обґрунтувати їх застосування з посиланням на відмінності геометричних параметрів архітектури заповнення та особливості формування внутрішньої структури виробів.

Однак, наведені зауваження не є визначальними та не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів роботи, не впливають на загальну позитивну оцінку представленої дисертаційної роботи.

Висновок про дисертаційну роботу.

Вище наведене дозволяє стверджувати, що представлена дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Тумарченко Лариси Олександрівни на тему «Оптимізація процесу виготовлення анатомічних моделей для ортопедичної хірургії методом пошарового наплавлення» виконана на високому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, а сукупність її теоретичних та практичних результатів розв'язує важливе наукове завдання, яке має суттєве значення для галузі знань Механічна інженерія. За своєю актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною представлена дисертаційна робота відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п. 6–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. №44.

За змістом, рівнем наукової новизни, обґрунтованістю і достовірністю отриманих результатів та їх практичною цінністю дисертаційна робота Тумарченко Л.О. відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 «Прикладна механіка».

Рецензент:

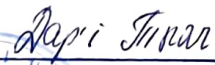
доцент кафедри «Фізичне матеріалознавство»

Національного університету

«Запорізька політехніка»,

кандидат технічних наук, доцент

 Дар'я ТКАЧ

Підпис 

Засвідчую:

Начальник відділу кадрів