

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію Векілова Саміра Шамсійовича
«Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів,
виготовлених із застосуванням адитивних технологій»,
подану на здобуття ступеня доктора філософії
в галузі знань 13 Механічна інженерія
за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

1. Актуальність теми дисертації

При використанні адитивних технологій скорочується тривалість виробничого циклу та суттєво підвищується економічна ефективність. Перспективним напрямом розвитку ракетно-космічного двигунобудування є використання технології Laser Powder Bed Fusion (L-PBF) для виготовлення складних елементів гідравлічних трактів рідинних ракетних двигунів (РРД). Технологія L-PBF дозволяє створювати агрегати складної геометричної форми, якими є змішувальна головка та внутрішні канали охолодження камери рідинного ракетного двигуна. Застосування L-PBF у виробництві РРД відкриває нові можливості для впровадження топологічної оптимізації та дозволяє створювати структури з оптимізованим розподілом матеріалу для досягнення максимальної ефективності при мінімальній масі. Дисертаційна робота дослідження Векілова С.Ш. присвячена аналізу можливості підвищення характеристик деталей та агрегатів РРД, виготовлених з використанням сучасних адитивних технологій. Тому тема роботи є своєчасною та актуальною.

2. Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота безпосередньо пов'язана з виконанням держбюджетної теми «Створення і удосконалення технологій і матеріалів для ракетних засобів ураження на основі інноваційних конструкторсько-технологічних рішень», № 6-675-23, № держреєстрації 0123U101855, в якій Векілов С.Ш. приймав активну участь. Отримані результати відповідають

вимогам Закону України «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У роботі проведено аналіз параметрів шорсткості поверхонь виробів, виготовлених з використанням адитивних технологій. Вперше запропоновано описувати зміну шорсткості поверхонь 3D-друку за допомогою гармонічних функцій. За результатами регресійного аналізу побудовано гармонічні функції, які визначають значення параметру шорсткості залежно від кутової орієнтації поверхні. Отримані результати мають ознаки **наукової новизни** та можуть бути застосовані до всіх виробів, виготовлених із застосуванням адитивної технології L-PBF.

За результатами статистичної обробки експериментальних даних автором запропоновано нову формулу, яка описує залежність коефіцієнта витрати від комплексу геометричних параметрів для відцентрових форсунок, виготовлених за допомогою технології L-PBF.

Отримані автором моделі для прогнозування гідравлічних параметрів трактів охолодження з урахуванням шорсткості поверхонь також мають наукову новизну.

4. Практичне значення отриманих результатів

Запропонована автором методика визначення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів дозволяє із задовільною точністю прогнозувати робочі параметри відцентрових форсунок вже на ранніх етапах проєктування. Практичний інтерес мають рекомендації стосовно вибору технологічних параметрів виготовлення із застосуванням адитивних технологій окремих елементів конструкції камери двигуна, а саме: форсунок та змішувальних головок, поясів завісного охолодження, трактів регенеративного охолодження. Коректність та обґрунтованість рекомендацій доведена під час успішних вогневих випробуваннях конструкцій камер РРД.

5. Аналіз змісту дисертації

Метою дисертації є встановлення залежності гідравлічних характеристик відцентрових форсунок від їх геометричних параметрів та розробка інженерної методики проектування трактів рідинних ракетних двигунів з підвищеними гідравлічними характеристиками.

Дисертаційна робота починається з огляду сучасного стану адитивних технологій виробництва деталей та вузлів ракетно-космічної техніки. Приведено класифікацію існуючих технологій та розглянуто особливості конструкцій поясів завісного охолодження РРД. Із підвищенням рівня конструктивної складності кількість технологічних операцій при адитивному виробництві не змінюється на відміну від традиційного виробництва. Розглянуто результати металографічного аналізу зразків конструкцій, отриманих з використанням адитивних технологій. Доведено підвищення ефективності виробничого циклу при впровадженні технології L-PBF.

Експериментально досліджено характеристики струминних та відцентрових форсунок різних типорозмірів, поясів завісного охолодження, а також трактів регенеративного охолодження камер РРД. Узагальнено експериментальні дані по гідравлічним характеристикам відцентрових форсунок у широкому діапазоні зміни геометричних параметрів.

Для підтвердження роботоздатності запропонованих систем сумішоутворення підвищеної ефективності, виготовлених із застосуванням технології L-PBF, проведено вогневі випробування дослідних зразків. На основі порівняння результатів випробувань дослідних конструкцій з результатами випробувань систем сумішоутворення, виготовлених за допомогою класичних технологій, доведена можливість досягнення більш високих показників ефективності роботи камери двигуна, виготовленої із застосуванням адитивних технологій.

Методами регресійного аналізу отримано рівняння, які описують параметри шорсткості у діапазоні зміни кутів нахилу поверхні від 0° до 180° . Запропоновано нову критеріальну залежність коефіцієнта витрати відцентрової

форсунки від комплексу її геометричних параметрів.

Дисертаційна робота Векілова Саміра Шамсійовича «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій» повністю відповідає спеціальності 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

6. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірності

Основні наукові положення та висновки дисертації є достатньо обґрунтованими. Достовірність отриманих автором результатів підтверджується порівнянням з даними інших дослідників та не протирічить відомим теоретичним положенням. Експериментальні дослідження гідравлічних характеристик елементів конструкції РРД проведено на сертифікованому обладнанні. Похибки експериментів знаходяться у допустимому діапазоні.

7. Оцінка академічної доброчесності дисертаційного дослідження

Оригінальний текст дисертації є результатом власних досліджень автора, що доводить високий відсоток унікальності, отриманий за результатом проходження перевірки через академічну систему Strike Plagiarism. Дисертаційна робота Векілова Саміра Шамсійовича не містить фальсифікацій, компіляцій, фабрикацій, плагіату або несанкціонованих запозичень. Запозичені ідеї, результати, текстові цитування та зображення інших авторів мають відповідні посилання у списку використаних джерел.

8. Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційна робота здобувача написана грамотною українською мовою, має змістовну цілісність, послідовність та довершеність. Стиль виконання відповідає вимогам наукової літератури, робота виконана з використанням загальноприйнятої термінології.

Розділи дисертаційної роботи змістовно пов'язані між собою, а стиль

оформлення відповідає вимогам наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

9. Публікація та апробація основних результатів дисертації

Наукові результати дисертації викладені у 12 наукових публікаціях автора. Серед них 7 статей у наукових фахових виданнях України. Результати дисертації представлені на 5 міжнародних наукових конференціях. Всі опубліковані матеріали пройшли експертизу кваліфікованих спеціалістів та мають безпосередній зв'язок з результатами дисертаційного дослідження.

Наукові результати дисертаційної роботи описані у наукових публікаціях автора у повному обсязі.

10. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Запропоноване автором визначення параметру ефективності процесу у камері РРД φ_p (формула (4.5)) через відношення дійсного та теоретичного значень масової секундної витрати є недостатньо обґрунтованим, тому що не враховує важливих аспектів, пов'язаних з якістю організації та протікання процесів у камері згоряння (неповнотою процесу горіння, нерівномірністю розподілу по площі поперечного перерізу камери коефіцієнта співвідношення компонентів палива та витратонапруженості).

2. Розрахунок коефіцієнта витрати відцентрової форсунки виконано без урахування в'язкості.

3. У запропонованому автором критеріальному співвідношенні зміни коефіцієнта витрати відцентрової форсунки μ від її геометричних параметрів (рівняння (5.12)) фактори впливу не є незалежними.

11. Висновок про дисертаційну роботу

Вважаю, що дисертаційну роботу здобувача ступеня доктора філософії Векілова Саміра Шамсійовича на тему «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних

технологій» виконано на достатньому науковому рівні. Дисертація виконана без порушення принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням. За сукупністю отриманих автором теоретичних та практичних результатів можна зробити висновок про певну практичну значущість роботи у галузі знань «Механічна інженерія». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені пп. 6–9 «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.

Здобувач **Векілов Самір Шамсійович** заслуговує на присудження ступеня доктора філософії у галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Офіційний рецензент:

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри двигунобудування
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара



Олександр **ЗОЛОТЬКО**

Підпис доцента Олександра
ЗОЛОТЬКО засвідчую:

Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара,
кандидат біологічних наук, доцент



Олег **МАРЕНКОВ**

» _____ 2024 року