

## **РЕЦЕНЗІЯ**

на дисертаційну роботу Вороновського Дмитра Костянтиновича

“Оптимізація параметрів холловського двигуна шляхом формування відповідної топології магнітного поля”, представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 — Механічна інженерія за спеціальністю 134 — Авіаційна та ракетно-космічна техніка

**Актуальність теми дисертації** підтверджується її зв'язком з тематикою наукових робіт Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, фізико-технічного факультету.

У цей момент одним із ключових напрямків у розвитку космічної сфери є активне вдосконалення технологій створення та використання малих космічних апаратів (МКА). Зацікавленість в цій області, що стрімко зростає в останні роки, обумовлена їхньою здешевленою вартістю, скороченими строками розробки та виготовлення, а також зменшенням ризиків фінансових втрат при можливих невдалих запусках та експлуатації.

Щодо електричних двигунів, які широко використовуються на супутниках для розв'язання завдань орієнтації та стабілізації, зміни орбіти і гальмування після завершення місії, розширення діапазону холловських двигунів створює потребу у високопродуктивних моделях. Відомо, що робочий термін служби холловських двигунів обмежується часом, протягом якого вони можуть працювати до пошкодження магнітної системи під впливом плазми.

Після повної ерозії діелектричного покриття у розрядному каналі іонний шлейф взаємодіє з магнітними полюсами, спричиняючи прогресуючу ерозію магнітопроводу. Новий підхід, відомий як "магнітне екранування", розроблений з метою раптового зменшення ерозії каналу, що може призвести до усунення цього режиму відмови у холловських двигунах.

**Наукову новизну** одержаних результатів можна сформулювати, виходячи з висновків до розглянутих в роботі конкретних задач, а саме:

1. Оптимізовано методику розрахунку створення магнітних систем у холловських двигунах, що дозволяє спростити процес моделювання та значно зменшити час обчислень. Встановлено чіткий зв'язок між розмірами та конфігурацією магнітного поля, параметрами функціонування двигуна, довжиною та розташуванням шару іонізації та прискорення в розрядному каналі.
2. Досліджено, що межі зон ерозії на зовнішній та внутрішній стінках розрядної камери, прилягаючи до анода, точно визначаються перетином "граничної" силової лінії магнітного поля із стінками, що залежить від різних параметрів, таких як напруга розряду, форма магнітної лінзи, величина індукції та матеріал розрядної камери. Положення цієї "граничної" силової лінії визначається значенням  $k \times V_{rmax}$  по середній лінії розрядної камери.
3. Підкреслено, що оптимізація параметрів та топології магнітного поля значно сприяє збільшенню тягової ефективності та зменшенню розмірів зони ерозії стінок розрядної камери в холловському двигуні.

### **Практичне значення роботи**

Автор детально розглянув та виклав основні стратегії проектування, розрахунку та визначення областей ерозії стінок розрядної камери, а також висунув рекомендації щодо підвищення енергетичної ефективності та імпульсу тяги холловського двигуна (ХД). Д. К. Вороновському вдалося застосувати ефективну оптимізацію параметрів та топології магнітного поля в прискорювальному каналі ХД, щоб розробити методику розрахунку, спрямовану на підвищення якості тягового потенціалу та робочого ресурсу двигуна. Це має ключовий вплив на економічні аспекти проектування, виготовлення та функціонування двигуна відповідної потужності.

**Публікації за темою дисертації.** Основні матеріали дисертаційної роботи відображено у 15 наукових публікаціях: 1 стаття у журналі, який індексується у наукометричній базі Scopus, Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, 5 статей у вітчизняних фахових виданнях категорії Б; 2 статті на

провідній закордонній конференції «7<sup>th</sup> edition of the Space Propulsion Conference», 7 матеріалів міжнародних та вітчизняних конференцій.

**Структура роботи.** Дисертаційна робота складається із анотації, вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, переліку використаних літературних джерел із 83 найменувань. Матеріали дисертаційної роботи викладені на 122 сторінках, містять 41 рисуноків та 17 таблиць.

У **вступі** обґрунтовано актуальність даної дисертаційної роботи, а також сформульовано її мету та завдання. Визначені об'єкт, предмет та методологія дослідження, відображена наукова новизна та практична значимість отриманих результатів; розкрито особистий внесок автора у виконання дослідження.

У **першому розділі** висвітлено поточний стан досліджень та перспективи розвитку холловських двигунів, проведено детальний аналіз параметрів сучасних магнітних систем у холловських двигунах і розглянуто існуючі конструкції цих систем. Враховуючи актуальність дослідження, визначено основні завдання, які ставляться перед дисертаційним дослідженням.

У **другому розділі** наведено огляд методів дослідження параметрів і конфігурації магнітного поля у холловському двигуні, проведено аналіз переваг і недоліків зазначених методів. Також висвітлено методику моделювання магнітних систем і методику верифікації, що були розроблені автором, та представлено результати застосування запропонованої методики.

Тема **третього розділу** зосереджена на вивченні процесу ерозії розрядної камери.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень ХД ST-100 та ST-100M, порівняльний аналіз їх тягово-енергетичних характеристик.

Дисертаційна робота завершується **висновками**, що впливають із змісту роботи, логічні та відображають основні досягнення дослідження.

Високо оцінюючи представлену Вороновським Дмитром. дисертацію, вважаю за доцільне висловити деякі **зауваження та побажання**:

1. У розділі 1.1 зазначено, що "перспективними напрямками розвитку ХД є розробка двигунів малої потужності для малих КА та ХД, що забезпечує високий питомий імпульс тяги для КА". Але це не є єдиним перспективним напрямком!
2. У тексті зустрічаються два поняття питомий імпульс і питомий імпульс тяги які в дисертації мають однакову розмірність секунди.
3. У кінці розділу 2.1 сказано, що "Останнім етапом є проведення верифікації розрахункової моделі, тобто зіставлення розрахункових результатів з експериментальними і в разі їх розбіжності введення в модель поправок і уточнень.". Ці поправки вносяться один раз і далі використовуються при наступних розрахунках інших типів МС, або ці поправки необхідно підбирати для кожної нової МС?
4. У розділі 2.3 сказано, що "що зі зменшенням зазору між магнітним екраном та полюсами МС індукція магнітного поля падає, водночас максимальне значення індукції зсувається далі за зріз МС, що в свою чергу впливає на ерозію стінок РК, та ресурс роботи ХД". Як впливає, в ліпшу чи гіршу сторону?

Однак, зроблені зауваження не носять принципового характеру, не зменшують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи і не можуть істино вплинути на загальну позитивну оцінку дисертації.

**Загальний висновок.** Дисертаційна робота Дмитра Костянтиновича Вороновського є завершеним високорівневим науковим дослідженням на актуальну тему. Отримані результати, які мають наукову обґрунтованість та практичну важливість, відкривають нові перспективи у вивченні оптимального магнітного поля у холловських двигунах. Ці результати становлять підґрунтя для подальшого розвитку сучасних холловських двигунів різної потужності.

Враховуючи актуальність, новизну, важливість одержаних автором наукових результатів, їх обґрунтованість і достовірність, а також практичну цінність сформульованих положень і висновків, дисертаційна робота Вороновського

Дмитра Костянтиновича «Оптимізація параметрів холловського двигуна шляхом формування відповідної топології магнітного поля», що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка відповідає встановленим вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. № 44 (зі змінами)), а її автор, Вороновський Дмитро Костянтинович заслуговує присудженню йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

### Рецензент

Провідний науковий співробітник  
Дніпровський національний  
університет імені Олеся Гончара,  
Міністерство освіти і науки України  
Науково-дослідний інститут  
енергоефективних технологій і  
матеріалознавства  
Доктор технічних наук, старший  
науковий співробітник



Лілія НАКАШИДЗЕ

*Підпис старшого наукового  
співробітника*

*Накашидзе Л. В. засвідчую:*

Учений секретар Дніпровського  
національного університету  
ім. Олеся Гончара,  
кандидатка фізико-математичних  
наук, доцентка



Тетяна ХОДАНЕН