

## **ВІДГУК**

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Юркова Богдана Володимировича

на тему «Розробка і обґрунтування методики розрахунку системи зберігання і подачі робочої речовини електрореактивної двигунної установки», представлену на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 — Механічна інженерія за спеціальністю 134 — Авіаційна та ракетно-космічна техніка

### **Актуальність теми дисертації**

В останні роки значно зріс попит на електрореактивні двигунні установки, що застосовуються на борту сучасних космічних апаратів для дослідження поверхні Землі, навколоземного і далекого Космосу. Основними функціями електрореактивної двигунної установки на борту космічного апарату є підтримка його орбіти для підвищення строку активного існування, орієнтація та стабілізація космічного апарату на орбіті, зведення апарату з робочої орбіти наприкінці служби. Таким чином, від параметрів двигунної установки у значній мірі залежить ефективність космічного апарату в цілому. Система зберігання і подачі робочої речовини є невід'ємною частиною будь-якої електрореактивної двигунної установки. У зв'язку з цим система зберігання і подачі робочої речовини істотно впливає на продуктивність, вагу і вартість як електрореактивної двигунної установки, так і супутника в цілому. Система зберігання і подачі робочої речовини виконує функції зберігання робочої речовини у балоні, зниження тиску робочої речовини до робочого рівня і подачі необхідної кількості робочої речовини у двигун. Це обумовлює необхідність якісного і повноцінного розрахунку усіх елементів системи зберігання і подачі робочої речовини, що дозволить значно покращити ефективність розробки і подальшого виконання космічних місій. Виходячи з цього, дисертаційна робота Юркова Богдана, яка спрямована на розробку методики розрахунку системи зберігання і подачі електрореактивної установки є вкрай актуальною для розвитку сучасної космонавтики.

## **Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.**

**Наукова новизна** результатів дисертаційного дослідження полягає в наступному:

а) Здобувач вперше створив цілісну методику розрахунку системи зберігання і подачі робочої речовини для електрореактивних двигунних установок. Створена методика дозволить значно полегшити та пришвидшити розробку системи зберігання і подачі для електрореактивних двигунних установок, та може слугувати основою для подальших досліджень.

б) В результаті теоретичних і експериментальних досліджень, здобувачем запропоновані алгоритми підтримання тиску в ресивері, для широкого діапазону значень тисків у балоні системи зберігання робочої речовини. Дане рішення дає змогу зменшити габарити та підвищити точність системи подачі.

в) Здобувачем запропоновані уточнені методики розрахунку окремих елементів системи подачі робочої речовини. А саме запропоновані або уточнені наступні методики розрахунків:

- параметрів балону та оптимальних параметрів робочої речовини у балоні, що дозволяє визначити тиск та густину заправки робочої речовини, за допомогою яких можна вибрати балон та визначити залишок робочої речовини під час місії;
- обмежувачів масової витрати, що дозволяє отримати необхідну довжину капілярної трубки і забезпечити потрібні масові витрати робочої речовини при заданих тиску та температурі;
- нового конструктивного елементу, для електрореактивних двигунних установок які використовують ксенон у якості робочої речовини, – газифікатору, що запобігає потраплянню рідкої фази робочої речовини у ресивер;
- ресиверу та параметрів робочої речовини ресивера.

## **Структура, мова та стиль викладення результатів дисертаційного дослідження**

Дисертаційна робота написана українською мовою, всі інформаційні матеріали і результати досліджень викладені в логічній послідовності, форма викладення доступна для спеціалістів за даною тематикою, використана термінологія відповідає загальноприйнятій в авіаційній та ракетно-космічній галузі.

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку літератури та шести додатків. Загальний обсяг дисертації 161 сторінка.

У **вступі** розкрита і обґрунтована актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовані мета та задачі дослідження, які необхідно виконати для досягнення мети роботи, приведені основні методи дослідження, представлені наукова новизна та практична цінність.

У **першому розділі** проаналізовано переваги і недоліки основних структурних схем систем зберігання і подачі робочої речовини, а саме: редукторних, з пропорційним клапаном, та ресивером з різними варіантами його наповнення (через обмежувачі витрати, двоступеневим регулюванням тиску та режимом наповнення за допомогою короткого відкриття вхідних клапанів (bang-bang)). Доведена актуальність проблеми розробки і обґрунтування методики розрахунку системи зберігання і подачі робочої речовини електрореактивної двигунної установки.

У **другому розділі** автором була розроблена цілісна методика розрахунку системи зберігання і подачі робочої речовини електрореактивної двигунної установки, яка складається з восьми основних частин. Проведено аналіз основних методик розрахунку параметрів робочої речовини у балоні і вибрано найбільш оптимальний метод. Представлено розрахунок параметрів балону для зберігання робочої речовини. Представлено новий метод розрахунку обмежувачів витрати. Розроблено методику розрахунку газифікатору для запобігання потраплянню рідкої фази робочої речовини у ресивер. Розроблено методику розрахунку параметрів ресивера та номінального тиску робочої речовини при зміні

температури під час роботи електрореактивної двигунної установки. Розроблено методику розрахунку оцінки зміни температури робочої речовини у ресивері під час його наповнення. Розроблено методику розрахунку для визначення підвищення тиску у ресивері після закриття вхідного клапану. Окремо було розглянуто питання оптимізації режимів наповнення ресиверу, що дозволяє підвищити ресурс системи подачі і зменшити її розміри.

У **третьому розділі** були проведені експериментальні дослідження для підтвердження розробленої методики на практиці. Автором було розроблено лабораторне обладнання, окреми елементи системи подачі та система подачі робочої речовини. Отримані експериментальні дані підтвержують актуальність та необхідність представленої методики розрахунку.

У **четвертому розділі** приведено результати роботи, розрахованої за запропонованою методикою, системи зберігання і подачі у складі електрореактивної установки у лабораторних і космічних умовах.

Представлені в кінці роботи загальні висновки повністю відповідають найбільш вагомим результатам, які отримані при виконанні досліджень, а також узгоджуються з формулюванням наукової новизни і практичної цінності дисертаційної роботи.

### **Оприлюднення результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати дисертаційної роботи відображено у 6 статтях. Одна з яких у журналі, який індексується у наукометричній базі Scopus, Q3 відповідно до класифікації SCImago Journal and Country Rank, та представлено у матеріалах міжнародних і вітчизняних конференцій. Отже, основні результати дисертації повно викладені в наукових фахових виданнях.

### **Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. Вибір ресиверної схеми системи подачі для розрахунку за запропонованою методикою може підлягати обговоренню, оскільки

ряд провідних компаній використовують схеми з пропорційним клапаном замість ресивера.

2. У розділі 2.2.3 представлено розрахунки залежності параметрів обмежувачів витрати від робочої речовини. Однак у електрореактивних двигунних установках при зміні робочої речовини з ксенону на аргон потребується повна переробка двигуна і пошук його оптимальних параметрів. Таким чином цей розділ не зовсім коректний з боку оцінки зміни довжини капіляру при переході з ксенону на аргон.
3. У розділі 2.3, розрахунку газифікатора, для запобігання потраплянню рідкої фази робочої речовини до ресивера після проведення розрахунку зазначено, що фактично буде використовуватись нагрівач потужністю в 4,5 разів більше ніж розрахований, що достатньо не обумовлено.
4. У третьому розділі на рисунку 3.3 при порівнянні експериментальних даних по заправці балону з розрахунками по методиці NIST та Рідліха Квонга, результати приведені так, що на рисунку важко оцінити фактичну точність.
5. У роботі присутні деякі граматичні та орфографічні помилки, а саме: сторінка 30 «розраховується параметри балону та робочої речовини...», слід писати «розраховуються параметри балону та робочої речовини...».

Вважаю, що висловлені зауваження не є визначальними і не зменшують загальну наукову новизну та практичну значимість результатів та не впливають на позитивну оцінку дисертаційної роботи.

### **Висновок про дисертаційну роботу**

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії, Юркова Богдана Володимировича «Розробка і обґрунтування методики розрахунку системи зберігання і подачі робочої речовини електрореактивної двигунної установки» виконана на високому науковому рівні, не порушує

принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для авіаційної та ракетно-космічної техніки. Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного «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). Автор дисертації – здобувач ступеня доктора філософії, Юрков Богдан Володимирович, заслуговує присудження йому ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

#### **Офіційний опонент**

Старший науковий співробітник

Інституту технічної механіки національної академії наук і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ).

к.т.н



Олександр ГРИШКЕВИЧ

Підпис офіційного опонента

к.т.н. О.Д. Гришкевича засвідчую

Учений секретар Інституту технічної механіки національної академії наук і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ).

к.т.н., старший науковий співробітник



Людмила ЛАПІНА