

## ВІДГУК

офіційного опонента Долгополова Сергія Івановича  
на дисертаційну роботу Бондаренка Олега Євгенійовича  
«Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних  
двигунів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії зі  
спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка

### Актуальність дисертаційної роботи

Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних  
двигунів є важливим фактором для зниження витрат на запуски космічних  
апаратів. Це сприяє більшій доступності космічних досліджень та  
комерційних польотів.

Покращення масової ефективності дозволяє зменшити витрати на  
паливо і матеріали, що, в свою чергу, знижує загальну вартість запуску. Це  
особливо важливо для комерційних компаній, які прагнуть зробити  
космічні польоти економічно вигідними.

Дослідження в цій галузі стимулюють розвиток нових матеріалів,  
інженерних рішень та технологій виробництва, що може мати широкий  
спектр застосувань не лише в ракетобудуванні, але й в інших галузях  
промисловості. Можна виділити декілька фундаментальних складових, що  
підкреслюють актуальність вибраної теми:

- використання чисельного моделювання для досліджень фізики процесів;
- використання топологічної оптимізації;
- використання нових сучасних матеріалів і технологій виробництва.

Таким чином, тема дослідження є актуальною та є важливим  
напрямком для розвитку проектування ракетних двигунів в цілому.

Проведені в дисертаційній роботі дослідження пов'язані з  
виконанням науково-дослідних робіт у приватній космічній компанії Flight  
Control Propulsion.

### **Наукова новизна одержаних результатів**

В дисертації одержано низку основних результатів, серед яких слід виділити наступні:

1. Вперше проведена оптимізація геометрії кронштейнів кріплення та силових рам конструкцій РРД малої тяги, що розробляється. Деталі було виготовлено і вони пройшли вогневі випробування у складі двигуна.
2. Набули подальшого розвитку закономірності впливу зон концентрації напружень на експлуатаційні характеристики деталей, виготовлених з використанням методу 3D-друку, що дозволяє розширити області застосування адитивної технології.

### **Практичне значення роботи**

Застосування одержаних результатів на практиці дозволяє проводити оптимізацію геометрії ще на етапі проектування, що значно скорочує час на виробництво.

Результати дисертаційної роботи у вигляді методики, яка дозволяє проводити топологічну оптимізацію, тим самим суттєво зменшує масу силових елементів, впроваджено у приватній космічній компанії Flight Control Propulsion (акт впровадження від 13.03.2024 р.)

### **Обґрунтованість і достовірність результатів досліджень**

Обґрунтованість і достовірність результатів визначається коректністю постановок задач, що розв'язувались; відповідністю моделей, що розроблені, процесам при напружено деформованому стану конструкцій; використанням апробованих методів математичного моделювання та проведення фізичного експерименту; збігом отриманих у дисертації результатів з експериментальними даними досліджень.

### **Повнота викладу результатів у наукових фахових виданнях**

Основні результати роботи опубліковані у 6 наукових працях: 6 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (Index Copernicus, Google Scholar), та 3 тези доповідей у збірниках міжнародних наукових конференцій.



### **Зауваження по дисертаційній роботі**

1. У дисертації докладно розглянуто оптимізацію конструкції кронштейна кріплення камери згоряння РРД. Відповідно до запропонованої методики масу цього кронштейна вдалося знизити більш ніж удвічі. На с. 84 представлені конструкції трьох інших оптимізованих кронштейнів. Який ефект зниження маси було отримано для них? Який діапазон зниження маси різних вузлів та агрегатів очікується при застосуванні запропонованої методики?

2. Яке зниження маси силових конструкцій отримане іншими авторами?

3. У роботі зазначено необхідність аналізу результатів топологічної оптимізації конструкцій силових елементів і виявлення місць з локальною концентрацією напружень. Звісно ж, що логічним завершенням оптимізації конструкцій було б усунення цих проблемних місць за рахунок додавання радіусів кривизни, плавних переходів та інших конструкторських прийомів.

4. У роботі не описані навантаження, що додаються, на силові конструкції, у тому числі різноманітні динамічні навантаження, особливо при запуску і зупинці двигуна.

5. Методика оптимізації силових конструкцій запропонована та апробована для РРД тягою 250 кг. Чи застосовна ця методика для маршових РРД тягою 100 т і більше? Які особливості на оптимізацію та 3D друк накладають великі розміри силових елементів?

6. Крім розглянути силових конструкцій до складу РРД зазвичай входить камера згоряння, турбонасосний агрегат, клапани різного призначення, інші агрегати. Якою мірою запропонована методика може бути застосована для зниження маси цих агрегатів?

### **Висновок**

Дисертаційна робота Бондаренка Олега Євгенійовича «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів» на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-

космічна техніка є закінченою науковою роботою, яка виконана на актуальну тему.

У дисертації отримано нові науково обґрунтовані результати, пов'язані з проектуванням силових елементів для РРД малої тяги.

З огляду на актуальність обраної теми, новизну отриманих результатів, теоретичну і практичну цінність дисертаційна робота Бондаренка Олега Євгенійовича «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів» відповідає вимогам «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 (із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023), а її автор, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Офіційний опонент:

старший науковий співробітник  
відділу динаміки гідродинамічних  
і віброзахисних систем

Інституту технічної механіки НАН і ДКА України,  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник

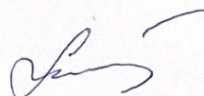


Сергій ДОЛГОПОЛОВ

Підпис Долгополова С. І. засвідчую:

Вчений секретар

Інституту технічної механіки НАН і ДКА України,  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник



Людмила ЛАПІНА

