

ВІДГУК

на дисертацію Ємця Михайла Віталійовича
**«Моделювання газодинамічних і теплообмінних процесів
в двигуні з центральним тілом автофажної ракети»,**
подану до захисту на здобуття ступеня доктора філософії
за спеціальністю 113 Прикладна математика

Актуальність теми дисертації

Актуальність теми дисертаційної роботи М.В. Ємця пов'язана з розробкою новітнього ракетного двигуна, що працює за автофажним принципом. Традиційні ракети-носії мають значну частку конструктивної (пасивної) маси, яка після виконання своєї функції відкидається і перетворюється на космічне сміття. Концепція автофажної ракети пропонує розв'язання цієї проблеми шляхом "самоспалення" конструкційних елементів (паливних баків) у процесі польоту – вони слугують твердим паливом. Конструкція камери такого двигуна передбачає наявність центрального тіла, що виконує роль газифікатора пального. Незважаючи на те, що газодинамічні і теплообмінні процеси в авіаційних і ракетних двигунах були предметом багатьох досліджень, представлена оригінальна конструкція камери двигуна раніше не досліджувалась і потребує визначення раціональних як геометричних характеристик, так і параметрів термогазодинамічних процесів.

Для розв'язання такої складної, міждисциплінарної науково-технічної задачі, яка має значний практичний потенціал, доцільно використовувати методи математичного і комп'ютерного моделювання процесів газової динаміки і теплообміну, що традиційно відноситься до предметної області фахівців з прикладної математики. Робота присвячена створенню математичних моделей та методик розрахунку і дослідженню внутрішніх процесів у камері згоряння нового типу двигуна з центральним тілом (газифікатором). Отже, тематика роботи є актуальною і розвиває сучасний апарат прикладної математики для дослідження нових реальних автофажних аерокосмічних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами

Дослідження, результати якого представлені в дисертації, виконувалися відповідно до тематичного плану наукових досліджень Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Зокрема, робота проводилася в рамках двох науково-дослідних тем: «Теоретичне та експериментальне обґрунтування автофажних двигунних систем

відведення об'єктів з низьких навколоземних орбіт» (2020-2022 рр., № д/р № 0120U102254) та «Обґрунтування проектно-балістичних параметрів надлегких ракет-носіїв з полімерними корпусами з урахуванням аеродинамічних та теплофізичних ефектів на атмосферній ділянці» (2021-2023 рр., № 0121U109770). Тема дисертації пов'язана із зазначеними НДР і є їх логічним продовженням, що свідчить про відповідність роботи пріоритетним напрямкам наукових досліджень університету та державним програмам у галузі ракетно-космічної техніки.

Оцінка змісту дисертації, її структури та дотримання принципів академічної доброчесності

Структура і зміст дисертаційної роботи, що розглядається, відповідають поставленій меті та завданням дослідження. Робота логічно структурована і складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел обсягом 72 найменування та додатка. Повний обсяг основного тексту – 123 сторінки, включно з 31 рисунком та 6 таблицями.

У вступі та першому розділі представлено огляд сучасного стану проблематики: тенденції розвитку надлегких ракет-носіїв, історію та концепцію автофажних ракет, конструкцію експериментального двигуна з центральним тілом, а також окреслено специфічні проблеми математичного моделювання таких систем.

Другий розділ присвячено розробці аналітичної термодинамічної моделі згоряння полімерного палива та обґрунтуванню вихідних даних для математичного та чисельного моделювання – проведено термодинамічні розрахунки, визначено рівноважний склад продуктів згоряння і ключові параметри процесу для різних комбінацій пального й окиснювача.

Третій розділ містить опис математичної моделі газодинамічних та теплообмінних процесів у камері автофажного двигуна з центральним газифікатором. Наведено детальну чисельну CFD-модель (ANSYS Fluent), результати серії обчислювальних експериментів та аналіз розподілу параметрів потоку в камері.

У висновках узагальнено результати дослідження та сформульовано основні наукові положення, що виносяться на захист.

Матеріал дисертації викладено логічно і послідовно: від теоретичних засад до отриманих автором нових наукових результатів. Така структура дозволяє читачеві легко простежити хід дослідження та зрозуміти основні положення роботи. Здобувач демонструє здатність критично аналізувати інформацію, виокремлювати головне і формулювати самостійні науково обґрунтовані висновки.

Дисертант дотримується принципів академічної доброчесності та культури наукового письма. У роботі представлено лише результати власних досліджень; усі запозичені ідеї й тексти інших авторів належним чином процитовано. Ознак порушення академічної доброчесності (плагіату, фальсифікацій тощо) у дисертації не виявлено.

Наукова новизна отриманих автором результатів

Дисертаційна робота містить значну наукову новизну. У ній вперше проведено комплексне чисельне дослідження робочих процесів автофажного ракетного двигуна, що поєднує газодинамічні та теплообмінні явища при поступовому вигорянні полімерного палива – конструктивного елемента двигуна. Основні нові наукові результати полягають у наступному:

1. Вперше побудовано чисельну модель, що описує газодинамічні й теплообмінні процеси в камері двигуна автофажної ракети з урахуванням переходу полімерного палива з твердого стану в рідкий та його теплової взаємодії з центральним тілом.
2. Вперше методами математичного й чисельного моделювання досліджено газодинаміку та теплообмін продуктів газифікації нового полімерного палива, що дало змогу встановити закономірності розподілу теплових і газодинамічних полів у камері двигуна.
3. Вперше комп'ютерним моделюванням підтверджено ефективність застосування газифікованого полімерного палива для автофажних двигунів: показано, що поєднання полімерного палива з твердими окиснювачами забезпечує питомий імпульс 240–280 с; розрахована швидкість газифікації поліетилену 20 мм/с гарантує ефективну роботу двигуна і покращує масову досконалість ракети шляхом відмови від металевих паливних баків.

Зазначені результати отримані автором самостійно і є новим словом у досліджуваній науковій сфері. Новизна та пріоритетність підтверджуються також наявністю публікацій здобувача у міжнародних рецензованих виданнях.

Практичне значення одержаних результатів

Робота М.В. Ємця має вагоме прикладне значення. Результати дисертаційного дослідження можуть бути безпосередньо використані при проєктуванні та вдосконаленні конструкцій автофажних ракетних

двигунів. Запропонована математична та чисельна модель дозволяють інженерам прогнозувати газодинамічні параметри потоку, поля температур та теплові навантаження у двигуні з центральним тілом-газифікатором. Отримані в роботі закономірності рекомендується застосовувати при проєктуванні конфігурації камери згоряння, виборі геометричних параметрів центрального тіла, обґрунтуванні теплофізичних характеристик матеріалів та розробці систем охолодження двигуна. Практична реалізація результатів дисертації вже здійснюється – зокрема, вони використані при виконанні проєкту зі створення експериментального зразка автофажної ракети на базі Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Використаний автором підхід може слугувати основою для подальших інновацій у галузі двигунобудування, спрямованих на розробку перспективних надлегких носіїв із вигоряючими конструктивними елементами. Таким чином, дисертація має не тільки теоретичну, а й пряму інженерну цінність, оскільки пропонує інструменти для вирішення практичних задач розробки нового класу ракетних двигунів.

Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірність

Наукові положення і висновки дисертації є обґрунтованими, а отримані результати – достовірними. Математичні моделі спираються на фундаментальні закони теорії механіки рідини, газу і теплообміну, комп'ютерне моделювання виконано з дотриманням вимог чисельного моделювання. Постановки задач сформульовано коректно, з урахуванням фізичних особливостей роботи автофажного ракетного двигуна з центральним тілом, а чисельну реалізацію моделей здійснено із застосуванням сучасних перевірених методів CFD-моделювання. Проведено всі необхідні заходи для підтвердження достовірності результатів: точність обчислень контролювалася шляхом аналізу сіткової збіжності та балансу енергії; результати моделювання порівнювалися з відомими теоретичними положеннями та даними інших авторів, та продемонстрували задовільну збіжність. Отже, наукові положення дисертації належним чином обґрунтовані математично і фізично, а висновки підтверджено як теоретичними, так і експериментальними аргументами.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Основні наукові результати, отримані у дисертації, опубліковані в повному обсязі. За темою дисертації здобувачем опубліковано 4 наукові

статті, всі – у виданнях, що індексуються в міжнародній наукометричній базі Scopus. Така кількість і якість публікацій повністю відповідає встановленим вимогам до публікацій здобувачів ступеня доктора філософії. Крім того, результати дисертації пройшли апробацію: доповіді автора були представлені на кількох міжнародних конференціях, у тому числі на Міжнародному астронавтичному конгресі (Дубай, 2021 р.) та ін..

Мова та стиль викладення результатів

Дисертаційну роботу Михайла Віталійовича Ємця написано українською мовою. Виклад матеріалу послідовний і логічний, стиль відповідає загальноприйнятим нормам фахової наукової літератури.

Оформлення дисертації виконано у межах вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

Зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі недостатньо уваги приділено аналізу припущень та обмежень запропонованої математичної моделі. Зокрема, доцільно було б обговорити, як впливають на результати моделювання такі фактори, як можливі нестационарні режими роботи двигуна, тривимірні ефекти течії чи достатність перевірки сіткової збіжності обчислювальної моделі. У дисертації переважно розглянуто усталені режими і рівноважні реакції; більш детальна оцінка впливу цих спрощень на достовірність отриманих результатів окреслила б область застосовності моделі.
2. Хоча в роботі наведено порівняння з результатами окремих експериментальних випробувань, обсяг такої верифікації є обмеженим. У подальшому було б корисно провести більш широку експериментальну перевірку основних теоретичних положень і чисельних прогнозів, наприклад, шляхом створення й тестування прототипу автофажного ракетного двигуна. Такий крок дозволив би остаточно підтвердити практичну дієвість запропонованих рішень і розрахункових методик.
3. У тексті дисертації місцями присутні незначні стилістичні огріхи та друкарські помилки. Зокрема, трапляються неточності у позначеннях фізичних величин і одиниць виміру, подекуди порушена єдність термінології. Ці недоліки не є принциповими, однак уважне літературне та технічне редагування тексту зробило б роботу більш легкою для сприйняття.

Зазначені зауваження не знижують загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальні висновки

Викладене демонструє, що дисертаційна робота Ємця Михайла Віталійовича «Моделювання газодинамічних і теплообмінних процесів в двигуні з центральним тілом автофажної ракети» є завершеним, самостійно виконаним науковим дослідженням, що має безсумнівну актуальність, новизну та практичну значущість. Тематика та зміст роботи повністю відповідають спеціальності 113 «Прикладна математика», за якою вона подана до захисту. Дисертація містить нові науково обґрунтовані результати і висновки, що вирішують важливе науково-технічне завдання. За рівнем виконання, ступенем обґрунтованості, науковою новизною та повнотою викладення результати роботи відповідають усім вимогам, визначеним пунктами 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 № 44 від 12 січня 2022 р. Вважаю, що здобувач Ємець Михайло Віталійович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 «Прикладна математика».

Офіційний опонент:

Завідувач відділу динаміки
гідромеханічних і віброзахисних
систем Інституту технічної
механіки Національної академії
наук України і Державного
космічного агентства України
доктор технічних наук,
старший науковий співробітник



Юрій КВАША

Підпис Юрія КВАШІ засвідчую:

Учений секретар Інституту
технічної механіки
Національної академії наук
України і Державного космічного
агентства України
кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник



Людмила ЛАПІНА