

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертацію Ємця Михайла Віталійовича

«Модельовання газодинамічних і теплообмінних процесів в двигуні з центральним тілом автофажної ракети», подану до захисту на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика

1. Актуальність теми дисертації

Актуальність теми дисертації обумовлена необхідністю проведення розрахунків нового типу надлегких ракет - автофажних ракет. В таких ракетах конструкційні елементи слугують паливом, що спалюється в камері двигуна оригінальної конструкції з центральним тілом (що виконує функцію газифікатора). На сьогоднішній день є потреба у визначенні оптимальних параметрів конструкцій камери двигуна автофажної ракети. Це можливо на основі комп'ютерного моделювання таких процесів, що є змістом представленої роботи. Отже, тема роботи є сучасною, відповідає актуальним напрямам прикладної математики та спрямована на розвиток надлегких ракетних систем нового покоління.

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

Тематика дисертації відповідає науковому напрямку кафедри та виконувалась у межах держбюджетних тем, присвячених розвитку автофажних ракетних систем і вдосконаленню конструкцій надлегких носіїв із полімерними корпусами. Дослідження проводились відповідно до планів наукової роботи Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Підготовка здобувача здійснювалася за акредитованою освітньо-науковою програмою спеціальності 113 «Прикладна математика».

3. Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання принципів академічної доброчесності

Дисертація Ємця М. В. є цілісною науковою працею, належним чином завершеною і структурованою. Загальний обсяг роботи становить 123 сторінки основного тексту, що включає вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел (72 найменування) та додаток. Робота містить 31 рисунок і 6 таблиць, які наочно ілюструють результати досліджень.

В 1 розділі «Огляд літератури стосовно тенденцій до створення легких ракет носіїв та питання розробки двигунних установок які використовують автофажний принцип» подано огляд розвитку надлегких носіїв та концепції автофажного двигуна; обґрунтовано доцільність використання полімерних оболонок як елементів, що можуть виконувати функцію пального. Описано лабораторний зразок двигуна з центральним тілом-газифікатором і принцип його роботи, виокремлено специфіку математичної постановки. Наприкінці розділу сформульовано задачі, які далі розв'язуються засобами термодинамічного аналізу та чисельного моделювання.

В 2 розділі «Розрахунок термодинамічних процесів в ракетному двигуні що використовує полімерне паливо» описано модель рівноважного згоряння полімерного пального з низкою твердих окиснювачів; виконано розрахунок стехіометрії, рівноважного складу та термодинамічних параметрів (температура продуктів, середня молекулярна маса, теплоємності, характеристична швидкість тощо). Проведено порівняння кількох пар «паливо–окиснювач» і відібрано комбінації з найкращими енергетичними показниками; отримані дані далі використовуються як вихідні для чисельного моделювання за допомогою комерційного програмного забезпечення.

В 3 розділі «Математична та комп'ютерна моделі газодинамічних і теплообмінних процесів в автофажному двигуні» побудовано просторову CFD-модель камери згоряння з центральним тілом у середовищі пакета Ansys, з описом геометрії, сітки, граничних умов і прийнятої постановки моделі турбулентності. За результатами серії обчислювальних експериментів наведено поля тиску,

температури й швидкості в камері та соплі, оцінено теплові навантаження на поверхню газифікатора. На підставі серій параметричних розрахунків подано інженерні рекомендації щодо конфігурації газифікаційної камери та робочих режимів.

Щодо академічної доброчесності: текст оформлено з коректними посиланнями, звіт з перевірки за допомогою сервісу StrikePlagiarism засвідчив оригінальність роботи. Отже, дисертація становить завершене самостійне дослідження з дотриманням академічних норм.

4. Оцінка обґрунтованості наукових положень, висновків та їх достовірність

Наукові положення та висновки дисертації сформульовано на підставі комплексної математичної й комп'ютерної моделі процесів у двигуні автофажного типу. Модель спирається на рівняння Нав'є–Стокса для стисливого турбулентного потоку з енергетичним рівнянням, що є коректною фізичною постановкою задачі внутрішньої аерогазодинаміки камери згоряння, і реалізована в комерційному програмному пакеті ANSYS. Коректність постановки забезпечено чітким заданням граничних умов і обґрунтованим вибором моделей турбулентності; проведено перевірку на сіткову збіжність і перевірку енергетичних балансів.

5. Наукова новизна отриманих автором результатів

Дисертаційна робота містить нові результати у сфері прикладної математики, математичного й комп'ютерного моделювання процесів у двигуні автофажного типу. Суть наукової новизни полягає в такому:

1. Побудовано чисельну модель, що описує газодинамічні й теплообмінні процеси в камері двигуна автофажної ракети з урахуванням центрального тіла (газифікаційної камери) та переходу полімерного палива з твердого стану в рідкий із тепловою взаємодією з корпусом центрального тіла.

2. Вперше методами математичного моделювання досліджено перебіг газодинаміки й теплообміну продуктів згоряння нового полімерного палива та встановлено закономірності розподілу теплових і швидкісних полів для ракетних двигунів з автофажною схемою.
3. Вперше засобами комп'ютерного моделювання підтверджено ефективність застосування газифікованого полімерного пального для автофажних двигунів: показано, що поєднання полімерного пального з твердими окислювачами забезпечує питомий імпульс 240–280 с; розраховано швидкість газифікації поліетилену в газифікаційній камері; окремо окреслено підвищення масової досконалості ракети завдяки відсутності металевих паливних баків.

Сукупність наведених положень формує особистий внесок здобувача та розширює інструментарій проєктування й аналізу двигунів автофажного типу.

6. Практичне значення одержаних результатів

Отримані результати мають прикладний характер і можуть безпосередньо використовуватися під час проєктування та доведення працездатності двигуна автофажного типу з центральним тілом. Описані математична й чисельна моделі дають змогу кількісно прогнозувати поля тиску, температури й швидкості в камері та соплі, оцінювати теплові потоки на елементах газифікаційної камери, а також визначати швидкість газифікації полімерного пального й робочий діапазон питомого імпульсу, що необхідно для вибору режимів і матеріалів вузлів двигуна. На основі обчислювальних експериментів можна формулювати інженерні рекомендації щодо раціональних конструктивних параметрів газифікаційної камери та камери згоряння, придатні для застосування на стадіях концептуального й детального проєктування.

7. Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати роботи висвітлено на всеукраїнських і міжнародних конференціях та у статтях рецензованих журналів, що індексуються міжнародними базами. Обсяг і рівень публікацій є достатніми для кваліфікаційної роботи рівня PhD.

Подані статті та матеріали доповідей охоплюють ключові результати дисертації: термодинамічні розрахунки, постановку та реалізацію CFD-моделювання, а також отримані інженерні рекомендації. Висновки, наведені у дисертації, корелюють із опублікованими даними. Тематика оприлюднених робіт безпосередньо відповідає предмету дослідження - моделюванню газодинамічних і теплообмінних процесів у двигуні автофажного типу з центральним тілом.

8. Зауваження та побажання

1. У дисертації не вказано який тип ліцензії використовувався на комерційний програмний пакет Ansys в якому були проведені чисельні моделювання (студентська, академічна, чи комерційна версії). Варто це зазначити й, за наявності, додати довідку від установи – отримувача ліцензії.
2. Прийняте припущення про надходження компонентів у газифікованому стані потребує обґрунтування. В реальній конфігурації можливе потрапляння палива у пастоподібному чи рідкому стані з подальшим випаровуванням. В такому випадку слід було би розглядати задачу горіння пастоподібного палива. Отже, слід було би зазначити межі застосування поточної моделі, та детальніше дослідити межі фазових переходів в конструкції двигуна в подальших дослідженнях.
3. В дисертації проведені розрахунки для зменшеної лабораторної моделі двигуна. Варто було би зазначити характеристики ракети для якої тестується такий зменшений двигун, а також порівняти його із повномасштабним двигуном для ракети-носія.

9. Загальні висновки

Дисертаційна робота виконана на належному науковому рівні: поставлені завдання розв'язано, результати обґрунтовано та апробовано. Отримані наукові положення мають ознаки новизни, а сформульовані висновки — практичне значення для розрахунку режимів роботи двигунів автофажного типу. Зміст дисертації Ємця Михайла Віталійовича «Моделювання газодинамічних і теплообмінних процесів в двигуні з центральним тілом автофажної ракети» відповідає всім 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 (зі змінами).

Здобувач Ємець Михайло Віталійович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Рецензент

Доцент кафедри аерогідромеханіки
та енергомасопереносу
механіко-математичного факультету
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара

канд. фіз.-мат. наук, доцент

Юлія БРАЗАЛУК

Підпис канд.фіз.-мат. наук, доцента Бразалук Ю. В. засвідчую

Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного університету
імені Олеся Гончара



Олег МАРЕНКОВ