

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Дніпровського національного
університету імені Олеся Гончара
Олег МАРЕНКОВ

«19» 06 2024 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Бондаренка Олега Євгенійовича «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів», представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Витяг

з протоколу №3 від 17 червня 2024 року міжкафедрального семінару фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

Голова міжкафедрального семінару фізико-технічного факультету д-р. техн. наук, проф., Санін А. Ф.

Секретар міжкафедрального семінару фізико-технічного факультету канд. техн. наук, доц. Лабуткіна Т. В.

ПРИСУТНІ: 21 з 25 членів міжкафедрального семінару: д-р. техн. наук, проф. А. Ф. Санін (05.02.01 – матеріалознавство), д-р. техн. наук, проф. М. М. Дронь (05.13.03 – системи і процеси управління); д-р. техн. наук, проф. Ю. О. Мітіков (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки); д-р. техн. наук, проф. Г. І. Сокол (05.11.06 – акустичні прилади і системи); д-р. техн. наук, проф. Манько Т. А. (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); канд. техн. наук, доц. А. В. Давидова (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); канд. техн. наук, доц. Т. В. Лабуткіна (05.13.03 – системи та процеси керування); науковий керівник канд. техн. наук, доц. Ю. В. Ткачов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); канд. техн. наук, доц. В. Ю. Шевцов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); канд. техн. наук, доц. В. Л. Бучарський (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), канд. техн. наук, доц. О. Є. Золотько (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), д-р. техн. наук, проф., О. М. Петренко (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), д-р. техн. наук, проф. Т. М. Кадильникова (05.02.02 – машинознавство), канд. техн. наук, доц. С. В. Клименко (05.13.06 – інформаційні технології), д-р. техн.

наук, проф. Т. І. Русакова (05.26.01 – охорона праці), д-р. техн. наук, проф. В. П. Малайчук (05.22.13 – навігація та управління рухом), канд. техн. наук, доц. А. М. Кулабухов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів), д-р. техн. наук, проф. В. В. Авдєєв (05.13.03 – системи і процеси управління), д-р. техн. наук, проф. В. О. Габрінець (05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), д-р. техн. наук, проф. О. В. Голубек (05.13.03 – системи і процеси управління), канд. техн. наук, доц. Н. С. Ащепкова (05.13.03 – системи і процеси управління), канд. техн. наук, доц. С. О. Полішко (05.02.01 – матеріалознавство), канд. техн. наук, доц. О. В. Бондаренко (05.02.08 – технологія машинобудування).

Порядок денний: розгляд і обговорення дисертаційної роботи Бондаренка Олега Євгенійовича «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів», представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

Дисертацію виконано на кафедрі ракетно-космічних та інноваційних технологій фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Тема дисертації затверджена вченою радою Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, науковим керівником призначено кандидата технічних наук, доц. Ю. В. Ткачова (протокол № 4 від 19.11.2020 р.), та уточнена на вченій раді фізико-технічного факультету (протокол № 7 від 06.02.2024 р.). Підготовка здобувача третього рівня вищої освіти здійснюється за акредитованою освітньо-науковою програмою «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка (Сертифікат про акредитацію освітньої програми 5903, дійсний до 26.09.2024).

СЛУХАЛИ:

Обговорення дисертації Бондаренка Олега Євгенійовича «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

За результатами перевірки дисертаційної роботи Бондаренка Олега Євгенійовича «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів» на плагіат програмою «StrikePlagiarism» виявлено, унікальність тексту складала 97.39%. Таким чином, на підставі перевірки зроблено висновок: робота Бондаренка О. Є. має високий рівень оригінальності і здобувач Бондаренко О. Є. може бути допущений до її захисту.

Перевірку на плагіат здійснювала комісія у складі: канд. техн. наук, доц. кафедри двигунобудування О. М. Пономарьов; канд. техн. наук, доц. кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій С. О. Полішко; д-р. техн. наук, проф. кафедри кібербезпеки комп'ютерно-інтегрованих технологій О. В. Голубек.

Робота виконана на 4.54 авторських аркушах, робота структурована, є анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, перелік джерел і додатки.

Доповідь О. Є. Бондаренка:

Доброго дня, шановна комісія. Дякую, що знайшли час послухати представлення мого дисертаційного дослідження. Тема мого дослідження «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів».

Зміст роботи наведено на слайді.

Метою дослідження є підвищення експлуатаційних характеристик ракетних двигунів шляхом удосконалення масової ефективності і конструкції силових елементів на основі результатів топологічної оптимізації конструкції і встановлених закономірностей формування напружено-деформованого стану елементів. Задачі були поставлені наступні, а саме дослідити сучасними методами проблему з використанням інноваційних CAE систем, провести моделювання об'єктів та предметів дослідження, розробити алгоритм та методику раціональної конструкції моделі силового елемента за допомогою топологічних перетворень в розрахунковій моделі і обґрунтувати отримані результати дослідження згідно з критеріями міцності та мінімізації маси.

Наукова новизна роботи полягає в наступному:

- з використанням розроблених моделей, які враховують зміну механізму деформування від пружного до пластичного, і визначених обмежень встановлено закономірності зміцнення конструкцій з високоміцних нікелевих сплавів;
- доведено, що граничні умови, які встановлюються при топологічній оптимізації конструкції елементів, залежать від типу навантаження і особливостей зони прикладення навантаження;
- 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.

Розділ перший. Аналіз існуючих методів підвищення експлуатаційних характеристик конструкцій силових елементів. Існують такі силові елементи як кронштейни, силові рами, балони високого тиску та силові корпуси ракетних двигунів на твердому паливі.

Поняття про експлуатаційні характеристики наступні

- питома міцність (це відношення межі міцності матеріалу до його густини);
- питомої жорсткості (це відношення модуля пружності або модуля Юнга до його густини);
- мінімум маси та ін.

Розділ другий було присвячено методам вирішення задачі про підвищення експлуатаційних характеристик силових елементів РКТ.

Обґрунтування напрямку дослідження та постановка задачі. Чому ця тема була вибрана для подальшого дослідження, тому що адитивне виробництво зараз на високому підйомі, та саме адитивне виробництво налічує безліч технологій, таких як SLS, SLM, SLA, тощо. Взагалі всі конструкції, що представлені в цьому дисертаційному дослідженні були виготовлені за технологією SLM.

Також розвиток композиційних матеріалів та методи виготовлення їх, бо зараз можна виготовити майже будь яких форм.

Існуючі методи підвищення експлуатаційних силових характеристик РКТ.

Інженерний підхід – спеціалісти конструктори за допомогою CAD систем розробляють конструкцію, яка одразу планується використовуватись як основна конструкція. Зазвичай, якщо мова йде про кронштейни чи силові рами, то такі конструкції важкі, бо є багато незалученого у роботу матеріалу, але такі складові міцні і жорсткі. Основними перевагами інженерного підходу є швидкість проектування та можливість швидко внести зміни до конструкції за потреби. Завдяки використанню CAD систем інженери можуть візуалізувати та аналізувати конструкції в реальному часі, що дозволяє швидко виявляти недоліки та оптимізувати їх перед тим, як розпочати виробництво.

Системний підхід – У сучасній інженерії включає в себе інженерний підхід, але додатково розширює його за рахунок використання комп'ютерних систем автоматизованого проектування (САПР).[13]. Цей підхід передбачає не лише створення конструкцій за допомогою CAD систем [14], але й їхню комплексну перевірку та аналіз за допомогою різноманітних інженерних програм та математичних моделей. Важливим етапом системного підходу є визначення відповідних критеріїв якості та безпеки конструкцій. Ці критерії встановлюються на основі вимог замовника, нормативних документів, а також особливостей самої конструкції та умов її експлуатації. Для цього використовуються різноманітні інженерні методи, включаючи чисельне моделювання, експериментальні дослідження та аналіз реальних умов експлуатації. Після визначення критеріїв якості конструкції проводиться її детальний розрахунок та аналіз за допомогою спеціалізованих САПР систем. Ці системи дозволяють інженерам врахувати всі необхідні параметри та умови, що впливають на роботу конструкції, та забезпечити її відповідність встановленим критеріям якості. Одним із головних переваг системного підходу є можливість автоматизації багатьох процесів проектування та аналізу конструкцій, що значно збільшує ефективність та точність роботи інженерів. Крім того, такий підхід дозволяє швидко виявляти та виправляти недоліки в конструкціях ще на етапі їхнього розроблення, що зменшує ризик виникнення неполадок та збільшує надійність та безпеку виробів.

Топологічна оптимізація – Це складний процес, в якому за допомогою відповідних критеріїв та алгоритмів вишукується оптимальна форма та розподіл матеріалу у виробі з метою мінімізації маси при забезпеченні визначених вимог до міцності та жорсткості. [15, 16]. Основна ідея полягає в тому, щоб лише там, де це дійсно необхідно для досягнення встановлених вимог, залишити матеріал, усуваючи незалучені у роботу частини. Перевагами топологічної оптимізації є автоматизація процесу та швидкість опрацювання конструкцій. Завдяки використанню спеціальних алгоритмів та програмного забезпечення можна швидко отримати результати, що зазвичай перевершують ефективність традиційних методів обробки в CAD/CAE системах. Проте, є деякі недоліки цього методу. Наприклад, на перших етапах топологічної оптимізації CAE інструменти не завжди можуть надати повністю «адекватні» результати, що може вимагати

додаткової ітерації та контролю з боку інженера. Крім того, використання цього методу вимагає потужних обчислювальних ресурсів, оскільки обробка великої кількості даних потребує великої кількості обчислень.

Експеримент – Експериментальні дослідження є важливою складовою сучасної інженерії, оскільки вони дозволяють перевірити теоретичні припущення, валідувати математичні моделі та отримувати реальні дані про поведінку матеріалів і конструкцій під різними умовами навантаження. Експерименти надають можливість отримати об'єктивну інформацію про властивості матеріалів, їхню міцність, стійкість та інші характеристики, які не завжди можна точно передбачити за допомогою теоретичних методів. Крім того, експерименти дозволяють виявляти недоліки та потенційні проблеми в конструкціях або матеріалах на ранніх стадіях розробки, що дозволяє вчасно ввести корективи та покращити якість продукту. Такий підхід дозволяє ефективно використовувати ресурси та зменшує витрати на подальше вдосконалення та виробництво. Отже, експериментальні дослідження є невід'ємною частиною інженерного процесу, яка допомагає забезпечити високу якість та надійність продукції при мінімальних витратах та зусиллях.

В дисертаційному дослідженні деякі конструкції виконано за допомогою топологічної оптимізації. Це математичний підхід де вирішується проблема оптимального розподілу матеріалу в замкнутих просторах конструкцій. Отримані оптимальні рішення можна модифікувати з урахуванням функціональних та технологічних вимог. Та звісно прибирає фактично найменш залучений у «роботу» матеріал. Далі ілюстративно показано процес топологічної оптимізації, де від початкової масивної конструкції шляхом вдосконалення та топологічних перетворень отримаємо оптимізовану конструкцію. Топологічна оптимізація має дві цільові функції оптимізаційної задачі. Це мінімізація маси та максимізація жорсткості. Також існує вже безліч методів топологічної оптимізації. В моїй роботі все задачі виконано методом SIMP (Solid Isotropic Material with Penalization). Це метод, який використовую функцію штрафу для керування наявністю матеріалу в конструкції. Використовуючи цей метод важливою задачею є регулювання густини матеріалу в різних частинах конструкції з метою досягнення мінімальної маси при забезпеченні достатньої жорсткості та міцності. Основна ідея методу SIMP полягає в представленні топології матеріалу за допомогою параметрів, які варіюються в діапазоні від 0 до 1. Такі параметри визначають, наскільки матеріал присутній в кожному елементі (вузлі) конструкції.

Висновок до другого розділу наступний, а саме об'єднуючи інженерний підхід, системний підхід, топологічну оптимізацію конструкції та експеримент, ми отримуємо комплексний підхід до вирішення задач з підвищення експлуатаційних характеристик. У синергії ці методи дозволяють досягти кращих результатів, забезпечуючи оптимальний баланс між масою, міцністю та іншими параметрами конструкції.

Третій розділ присвячено вирішенню задачі підвищення експлуатаційних характеристик за допомогою CAE систем.

Представлено алгоритм рішення задачі та його обґрунтування. Спочатку розробляється початкова конструкція (пункт 1), далі проводиться аналіз напружено-деформованого стану цієї конструкції за допомогою CAE систем (наприклад, ANSYS Workbench, Nastran/Patran NX, Abaqus чи Catia V5 тощо). Основуються ці CAE системи на методі скінчених елементів (МСЕ), що значно допомагає та полегшує обчислення складних конструкцій, у порівнянні з інженерними методиками. Так, наприклад, можливості в розрахунковій області майже необмежені. Те, що складно, або неможливо порахувати аналітичними методиками – тепер можна порахувати за допомогою сучасних програм. У таких CAE системах проводиться побудова розрахункових скінчено-елементних сіток, та скінчено-елементний аналіз, де задаються усі граничні умови (жорсткі закріплення, шарніри, консолі, тощо) та навантаження (тиск, сили, перенавантаження, тощо) конструкцій (пункт 2). А далі вже проводиться топологічна оптимізація (пункти 3 – 6). Нині в деяких CAE системах вже є окремий вбудований модуль топологічної оптимізації (наприклад, ANSYS Discovery чи ANSYS Discovery Live, Autodesk Inventor, Abaqus, TopOpt і так далі). І вже на підставі того, чи відповідає конструкція певним умовам (наприклад, нормам міцності, мінімуму маси чи максимуму жорсткості), якщо відповідь «так», то конструкція проходить певні дороблювання та в решті решт ми отримуємо фінальну конструкцію (пункт 7), а вже потім вона йде на 3Д-друк (пункт 8). Якщо відповідь «ні», то проводиться повторна ітерація з 3 по 6 пункти. Як було згадано вище, то топологічна оптимізація – це ітеративний підхід для покращення конструкції.

Також розглянуто графік напружено-деформованого стану матеріалу з урахуванням нелінійності. Всі задачі, які були виконані в дисертаційному дослідженні вони виконані з урахуванням нелінійності матеріалу, тобто це якщо напруження в конструкції мають значення менші за межу плинності матеріалу, то така конструкція працює у пружності, але якщо напруження стають вищими за межу плинності матеріалу, то така задача працює у пластиці, бо деформації, які виникають, вони невідворотні. Простіше кажучи, навіть після розвантаження конструкції – вона залишиться zdeформованою.

Було встановлено, що дуже важливе задання граничних умов для топологічної оптимізації. Бачимо тестову конструкцію для топологічної оптимізації. На першій картинці бачимо конструкцію після топологічної оптимізації з чіткими граничними умовами. Всі отвори, які є отворами для кріплення мають певну межу «недоторканності» і ці зони не можуть бути оптимізовані і там не може бути прибраний матеріал. На другій картинці бачимо конструкцію, де такими зонами було знехтувано і тому конструкція не роботоздатна.

Висновки до третього розділу наступні, запропоновано алгоритм постановки в CAE-системі Discovery Live та рішення задач. Обґрунтовано доцільність такого алгоритму, що дозволяє на етапі проєктування забезпечити удосконалення масової ефективності. Залучено метод скінчених елементів для вирішення складних фізичних задач напружено-деформованого стану в інженерії. Важливо чітко

формувати граничні умови для конструкції, враховуючи зони кріплення та прикладання навантажень.

У заключному четвертому розділі було розглянуто отримання конструкцій силових елементів з підвищеними силовими характеристиками за допомогою чисельного моделювання.

Для підтвердження результатів представлено верифікаційний розрахунок на тримкість балону високого тиску, який було виготовлено адитивними технологіями 3D-друку. Розрахунок було проведено у осесиметричній 2d-постановці задачі. Матеріал конструкції балону – нікелевий сплав для 3D-друку Inconel 718. За результати чисельного моделювання можна спрогнозувати, де конструкція буде руйнуватись. Саме на це вказують поля пластичних деформацій. Аналіз отриманих результатів включає в себе визначення величини розрахункового руйнівного тиску для такої конструкції. Після чого розраховується коефіцієнт тримкості конструкції. Такий балон був виготовлений та випробуваний. Область, що виділена червоним вказує на початкове місце руйнування конструкції. Тобто, якщо порівняти прогнозоване місце руйнування та реальне місце руйнування, то видно, що результати збігаються. Також реальний руйнівний тиск для цієї конструкції відрізнявся від розрахункового не більше ніж на 5%, що є в межах допустимої похибки.

Таким чином було верифіковано підхід до чисельного моделювання в CAE середовищі ANSYS.

Наступною була задача покращення кронштейну кріплення камери ракетного двигуна. Постановка задачі наступна: необхідно провести топологічну оптимізацію кронштейну кріплення, для мінімізації його маси, при тому щоб він відповідав усім нормам міцності та мав достатні запаси міцності. Матеріал конструкції нікелевий сплав Haynes230. Використовую алгоритм для роботи з такими конструкціями. Тому моделюю скінчено-елементну сітку для даного кронштейну, щоб зробити чисельне моделювання у CAE системі Ansys Mechanical. Оскільки конструкція складна геометрично (має гострі переходи, закруглення, тощо) скінчено-елемента сітка побудована тетраедрами. Умовами навантаження для цієї конструкції будуть осьова стискаюча сила еквівалентом 250 кг тяги двигуна, маса двигуна та квазістатичні перевантаження. Умовами обмежень будуть заборона осьових переміщень, що імітує закріплення кронштейна до рами двигуна.

Результати розрахунку показали, що конструкція має запас міцності 4.54, що є достатнім згідно норм міцності. Але такий великий запас свідчить про те, що конструкція має зайву масу. Саме тому потрібно провести топологічну оптимізацію.

Згідно алгоритму проводиться топологічна оптимізація, а саме методом SIMP у середовищі CAE пакету ANSYS Discovery Live. Умова оптимізації мінімізація маси конструкції.

Отримано конструкцію кронштейну з видаленим зайвим матеріалом, у областях, де це потрібно. Нова конструкція кронштейну кріплення вже після топологічної оптимізації представлена на слайді. Конструкція кронштейну кріплення після топологічної оптимізації має зовсім інший вигляд, оскільки

видалення зайвого матеріалу, що не залучений у роботу надало цьому кронштейну футуристичної та складної геометричної форми.

Результати розрахунку показали, що конструкція оновленого кронштейну кріплення має запас міцності 2.13, що відповідає нормам міцності та ≥ 1.5 . Таким чином робимо висновок, що конструкція має достатній запас міцності і не потребує наступної доробки. Таку конструкцію можна рекомендувати на 3D-друк. Вже після чого проводити відповідні випробування.

Параметр	Вихідна конструкція	Оптимізована конструкція
Маса кронштейну кріплення	250 грам	124 грама
Максимальні еквівалентні напруження в конструкції	183 МПа	391 МПа
Коефіцієнти запасу міцності	4.54	2.13

Таким чином оптимізована конструкція кронштейну кріплення стала легшою на 51% і при цьому запас міцності становить більше 2. Також важливий аспект, що конструкція не потребує додаткових робіт і може бути передана на 3Д-друк.

Пізніше його випробували як кріплення камери двигуна на стенді для вогневих випробувань і цей кронштейн дуже добре відпрацював весь час цих вогневих випробувань. Конструкція роботоздатна та готова до наступних випробувань. Ніяких дефектів чи пошкоджень в ході огляду і дослідження не виявлено.

Але варто приділяти дуже пильну увагу до концентраторів напружень, особливо у конструкцій, які були отримані шляхом топологічної оптимізації. Концентрації напружень призводять до локального підвищення рівня напружень в матеріалі, що може суттєво знизити загальну міцність деталі. Місця з концентраціями напружень стають найбільш вразливими до пошкоджень та руйнувань. Тому особливо важливо приділяти цьому більше уваги при аналізі отриманих конструкцій після топологічної оптимізації.

Наступним етапом було підвищення масової ефективності силової рами для розгінного блоку рідинного ракетного двигуна. Дана конструкція була розроблена для рідинного ракетного двигуна, тягою 250 кгс. Геометрія малої та великої основи були обмежені максимально допустимими межами друку 3Д-принтера 400 мм. Тому велика основа становить 400 мм, а мала основа – діаметр змішувальної головки двигуна 80 мм. Умови навантаження – це тяга двигуна, маса двигуна та квазістатичні перевантаження.

Конструкція має після оптимізації достатній запас 2.29, та для такого типу конструкцій важливий запас по стійкості, а він тут теж достатній – 3.61.

Конструкція силової рами рідинного ракетного двигуна малої тяги, що була оптимізована легша на 68% за класичну конструкцію.

Остання задача у дисертаційному дослідженні була така, а саме покращення композитного несучого корпусу ракетного двигуна на твердому паливі.

Маємо вихідні дані, як і у минулій задачі. Тому за допомогою програмного забезпечення експериментальної лабораторії університету було отримано кут перехресного намотування на вході і виході витка постійний $\pm 13^\circ$. Структура пакету армування наступна: кільцевих шарів (I) – 50%, перехресних (X) – 50%.

На слайді наведені механічні властивості характеристик композитних днищ та композитної оболонки зі структурою армування $\pm 13^\circ$, 90° . Результати чисельного моделювання показали, що запаси міцності такої конструкції з такою структурою армування достатні. Було проведено для апробації різні варіації конструкцій, змінюючи структури армування чи кути перехресного армування. І бачимо, що конструкція з нетиповими кутами $\pm 13^\circ$ має більші запаси міцності, що свідчить про виконання задачі покращення корпусу. Аналогічна конструкція, тільки з металу важить 410 кг, а композитна 188 кг, таким чином, видно, що конструкція композитного несучого корпусу ракетного двигуна на твердому паливі легше на 54%. Сформовано практичні рекомендації для проєктування композитних конструкцій.

- Рекомендується при створенні такої конструкції симетричне, знакозмінне $\pm \phi$, яке визначається кутами виходу з днищ композитного корпусу. У випадку якщо полюсні отвори днищ не однакові, то необхідно використовувати мінімальні зміни кута орієнтації по довжині циліндра;
- Однакова кількість $\pm \phi$, структура (стек) з такою ж кількістю шарів при $+45^\circ$, як при -45° , називається збалансованою структурою. Ця рекомендація має сенс завдяки стійкості до зсуву (зсувна напруга створює однакову величину напруги при $+45^\circ$ та стиснення при -45°);
- Послідовність намотування, рекомендується уникати розміщення занадто багато послідовних шарів в одному напрямку і потрібно намагатися розподілити їх по всій товщині. Це обмежує проміжне напруження і, таким чином, розшарування;
- Структура армування циліндричної частини баку повинна мати послідовність намотування (X) та (I) шарів, та як показав експеримент, раціональною являється структура 50% на 50%.

Висновки до четвертого розділу можна сформулювати так, що використання чисельного моделювання є важливим та необхідним інструментом для оптимізації силових елементів ракетних систем.

- Проведено розрахунок тримкості балону високого тиску, виготовленого 3Д-друком, що верифікував подальші розрахунки.
- Покращений кронштейн кріплення легше на 51% від вихідної конструкції при достатній міцності.

- Оптимізована силова рама для РРД малої тяги легше від класичної на 68%.
- Композитний несучий корпус РДТП легше за металевий на 54%.

Загальні висновки по дисертації наступні:

- Проведено аналіз існуючих силових елементів ракетних двигунів;
- Запропоновано алгоритм та методику для вирішення задач оптимізації конструкцій;
- Чисельно змодельовано декілька реальних задач, що були виконані успішно в ході реальних випробувань;
- Оптимізовано та вдосконалено декілька конструкцій кронштейнів, та композитного корпусу ракетного двигуна на твердому паливі.

Тобто всі задачі дисертаційного дослідження були виконані у повному обсязі.

Дякую за увагу!

ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ:

Питання к. т. н., доц. Кулабухов А. М.:

Питання: *Де наука у вашій роботі? Що Ви внесли нового в наукові частини?*

Відповідь: Коли використовується інструмент у якому я роблю розрахунки, то граничні умови і їх задання воно дуже багато впливає на те, що ми отримаємо на виході. Повторюваність не вийшла одразу, всі конструкції, які були наведені у дисертаційній роботі – це результат ітерацій. Кожне задання граничних умов у цьому інструменті вже є унікальним. Таке робиться вперше. Також подальшого розвитку набули визначення зон концентрацій напружень. Якщо ми розглянемо класичні конструкції, то там концентраторами напружень інженери з міцності нехтують, тому що це вже закладено у похибку. Та такі випадки зумовлені особливістю розрахункової моделі. Якщо ми кажемо про топологічно оптимізовані конструкції, то це дуже важливо, оскільки наведений кронштейн був зруйнований у зонах концентраторів напруження. Дякую.

Питання д-р. тех. наук, проф. Габрінець В. О.:

Питання: *Ви багато використовуєте слово «оптимізація», «оптимальна», і у Вас є цільова функція, які параметри входять в цільову функцію і що Ви шукаєте, коли говорите про максимум чи мінімум цільової функції?*

Відповідь: Цільова функція топологічної оптимізації є або мінімум маси, де ми у вказаному об'ємі шукаємо мінімум маси, або цільова функція максимізація жорсткості, тобто підвищуємо жорсткість тієї чи іншої конструкції. Що стосується

ракетної техніки, то вкрай важливо зробити, щоб конструкція була і легкою і щоб виконувала всі задачі, на які вона розрахована. Потрібно. Щоб конструкція відповідала нормам міцності.

Питання: *Коли Ви кажете про міцність, то виникає питання, а як ця міцність змінюється. Ось Ви зменшили кількість матеріалу для кронштейна, як при цьому змінюється коефіцієнт запасу міцності?*

Відповідь: Якщо ми кажемо конкретно про кронштейн кріплення, то коефіцієнт запасу міцності зменшився з 4.54 до 2.13, тобто зменшення суттєве в два рази, але цього все ще достатньо для того, щоб конструкція виконувала свою функції. І це згідно з нормами міцності, для такого типу конструкції потрібно, щоб коефіцієнт запасу міцності був не менше 2.

Питання: *Які взагалі повинні бути коефіцієнти запасу міцності для різних агрегатів ракетної техніки?*

Відповідь: Для кожного вузла та агрегату коефіцієнт допустимий запасу міцності відрізняється. Наприклад, для кронштейну та силових рам достатньо 2, а для балону високого тиску 2.25.

Питання: *Тобто основна ідея Вашої роботи це знизити міцність до майже допустимого значення, при цьому зекономити велику кількість маси?*

Відповідь: Так, все вірно.

Питання д-р. техн. наук, проф., Петренко О. М.:

Питання: *В мене таке запитання, може воно допоможе здобувачу відповісти більш конкретно на попередні питання. Коли я дивлюсь назву дисертації «Удосконалення масової ефективності конструкції...», а що таке «удосконалення», якими параметрами чи характеристиками можна описати оцей процес і результати удосконалення?*

Відповідь: Удосконалення тієї чи іншої конструкції, це коли вона має достатню міцність і можна знизити масу конструкції і це робиться без шкоди без подальшої роботоздатності. Удосконалення за масою та зберіганні достатньої міцності. Я так розумію.

Питання: *В пункті наукової новизни говориться, що встановлені закономірності зміцнення, так от ці закономірності зміцнення вони встановлені, але вони не проілюстровані. В якому вигляді вони представлені у якості пункту наукової новизни?*

Відповідь: Можливо не правильно сформовано саме поняття «закономірності», була використана модель зміцнення матеріалу. Дякую за дуже доречне зауваження.

Питання к. т. н., доц. Лабуткіна Т. В.:

Питання: *Ви просто оптимально прибираєте матеріал в конструкції?*

Відповідь: Так. Прибирається найменш залучений у роботу матеріал.

Питання: *Конструкція не стає крихкою? Ви на це звертали увагу?*

Відповідь: Так, бо для цього і робилось чисельне моделювання. Проаналізувати чи має конструкція достатній запас міцності чи ні, а якщо це силова рама, то додається і стійкість.

Питання: *Ви говорили про два критерії оптимізації, чи пов'язані вони один з одним, чи ні?*

Відповідь: При зменшенні маси звичайно цільова функція буде мінімум

маси, поєднування цих критеріїв також є, потрібно щоб оптимізована конструкція була достатньо жорстка, для цього в інструментах де я працюю, там є критерій і мінімуму маси на той чи інший відсоток і дотримання жорсткості конструкції. Ці критерії працюють разом. Якщо сильно зменшити масу, то конструкція буде дуже дійсно крихка і вона не буде роботоздатна.

Питання: *Як ці критерії зв'язані? Один з них як обмеження чи як коефіцієнт? Як воно зв'язано в цілому?*

Відповідь: Це представлено як те чи інше обмеження, що неможна, наприклад, зменшувати масу більше ніж на 50%. Є зони, де, наприклад, кріпиться кронштейн і ці зони недоторканні зони, яку не можна оптимізувати. Тоді там матеріал не прибирається, для того, щоб ці зони були фізичні.

Питання д-р. техн. наук, проф. Манько Т. А.:

Питання: *Скажіть будь ласка, а скільки років ви цю роботу робили?*

Відповідь: Ще з магістратури я почав робити певні напрацювання для подальшого вступу на аспірантуру.

Питання: *Ви кажете про початкове проектування, що це таке? З ким це пов'язано? Ви кажете про деякі силові елементи, а як ви це отримали?*

Відповідь: Так, я працюю в кооперації з конструкторами, тому початкове проектування робилось на певні задачі. Ці елементи отримані шляхом топологічних перетворень.

Питання: *Чому у Вас дисертаційна робота зовсім без технології?*

Відповідь: Тому що робота більш розрахункова, та спирається на чисельне моделювання.

Питання д-р техн. наук, проф. Авдєєв В.В.:

Питання: *Які роботи були проаналізовані у межах України, чи закордоном?*

Відповідь: Були проаналізовані роботи наших співвітчизників, нашого доцента фізико-технічного факультету Ліповського, також достатньо багато було проаналізовано і американських, чи азійських колег у цій сфері. Дуже гарний інститут у наших колег з КПІ та Сумського національного університету.

Питання: *Всі Ваші математичні моделі були нові чи вже відомі?*

Відповідь: Були звичайно відомими, але є такі математичні моделі, які стали і коли робиться інша гранична умова, то ця мат модель стає іншою. Коли я робив свої розрахунки, то я розумів, що користуюсь вже відомою моделлю.

Питання д-р техн. наук, проф. Сокол Г. І.:

Питання: *Ви можете сказати, що Ви конкретно зробили вперше?*

Відповідь: Я не можу сказати на 100% впевнено, але я розглядав достатньо багато робіт авторів на схожу тему і ніхто не робив акцент саме на концентраторах напружень. Коли я зробив топологічну оптимізацію кронштейну кріплення, то ця конструкція пройшла випробування статичні у складі двигуна, все було добре. Я розрахував запас міцності загальний і він був достатньо великим, але коли випробовувати конструкцію на несучу здатність, або тримкість, то вона зруйнувалась раніше, ніж це прогнозувалось і саме у концентраторах напружень. І це спонукало мене звертати значно більшу увагу саме на зонах концентрації напружень.

Питання к. т. н., доц Ащепкова Н. С.: Ви кажете, що використовуєте вже відомі математичні моделі, а потім вносите зміни згідно вашої задачі? Яким чином ви здійснюєте верифікацію математичного моделювання?

Відповідь: Я проводив верифікаційні розрахунки в достатній кількості і один із них це моделювання балону високого тиску, який виготовлений за допомогою 3Д-друку. Було надано коефіцієнт запасу по тримкості і надано розрахунковий руйнівний тиск. Реальний руйнівний тиск в межах допустимої похибки.

ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА:

Ю. В. Ткачов, канд. техн. наук, доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій

Бондаренко Олег Євгенійович здобув ступінь магістра на кафедрі проектування і конструкцій Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара у 2020 року, в тому ж році і вступив до аспірантури. Працював на державному підприємстві «Конструкторське бюро «Південне»», а згодом у приватній компанії «FlightControl Propulsion» де почав активно займатись дисертаційним дослідженням та напрацьовував матеріал для дисертаційного дослідження.

Олег відзначається високим рівнем відповідальності. Він завжди виконує свої завдання вчасно та з високою якістю, що є свідченням його серйозного ставлення до навчання та наукової роботи. Також демонструє високий рівень володіння вмінням критично аналізувати отримані дані. Його дослідницькі роботи вирізняються ретельністю і точністю, що дозволяє досягати значущих наукових результатів.

Протягом усього періоду навчання, Бондаренко виявляє високу ступінь самостійності в роботі. Він самостійно формулює задачі, розробляє плани їх виконання та здійснює пошук необхідної інформації. Окрім того, він проявляє ініціативу в пошуку нових напрямків для дослідження, що значно розширює його науковий горизонт. Аспірант постійно прагне до професійного зростання. Він бере участь у наукових конференціях, семінарах, де представляє результати своїх досліджень та активно обмінюється знаннями з іншими дослідниками. Бондаренко Олег також залучений до публікації своїх наукових робіт у фахових виданнях, що сприяє поширенню його наукових досягнень у науковій спільноті.

Наукова новизна отриманих результатів.

Дисертантом було виконано ряд задач, наприклад вперше була проведена оптимізація кронштейнів кріплення, силових рам для реальних конструкцій РРД малої тяги для розгінного блоку, які у складі двигуна пройшли ряд випробувань.

Також здобувачем було доведено, що граничні умови, які встановлюються при топологічній оптимізації конструкції елементів, залежать від типу навантаження і особливостей зон прикладення навантаження.

І завдяки здобувачу набули подальшого розвитку закономірності впливу зон концентрації напружень на експлуатаційні характеристики деталей, виготовлених 3Д-друком, що дозволяє розширити області застосування адитивної технології.

Достовірність одержаних результатів забезпечена чисельним моделюванням у сучасних комплексах та експериментальними випробуваннями.

Практичне значення.

Розроблена, експериментально та практично підтверджена нова методика топологічної оптимізації у вигляді структурованого алгоритму, за якою можна забезпечити удосконалення масової ефективності силових елементів конструкції двигунних установок ще на етапі проєктування для подальшого виготовленням адитивними методами. Вперше одержані конструктивні елементи, які підтверджують цієї методики на виробництві.

Запропонований новий підхід до інтеграції чисельного моделювання у середовищі CAE Discovery Live в процеси технологічної підготовки виробництва елементів конструкцій двигунних установок із застосуванням адитивних технологій, який вперше впроваджений та реалізований на виробничій базі FlightControl Propulsion.

Виконані дослідження можливості топологічної оптимізації елементів конструкції двигунних установок, виготовлених із композиційних матеріалів, на основі яких вперше запропонована методика для підвищення масової досконалості композитних конструкцій, ефективність якої підтверджена під час чисельного моделювання ракетного двигуна на твердому паливі.

Публікація основних результатів дисертації. Основні матеріали дисертації були відображені у 4 наукових статтях, та ще у 2 статтях, що додатково відображають результати дисертації у вітчизняних фахових виданнях категорії Б. Апробацію наукових результатів було проведено шляхом доповіді на 3-х науково-практичних конференціях.

Висновок щодо дисертаційної роботи. На підставі вищенаведеного можна зробити висновок, що за своєю актуальністю, обсягом виконаних досліджень, науковою новизною, достовірністю одержаних результатів, оформлення роботи, апробації отриманих результатів дисертація Бондаренка Олега Євгенійовича на тему «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів» відповідає кваліфікаційним вимогам щодо дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора філософії, а її автор, Бондаренко Олег Євгенійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ О. Є. БОНДАРЕНКА ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:

Д-р. техн. наук., проф. Сокол Г. І.:

Робота хороша, дуже багато всього було зроблено. Я вважаю, що роботу можна рекомендувати до захисту.

Д-р. техн. наук., проф. Манько Т. А.:

Робота дійсно гарна. Здобувач зробив дуже велику роботу, там покращив, там підвищив, що дуже важливо для ракетної техніки. Я вважаю, що потрібно рекомендувати цю роботу до захисту.

Д-р. техн. наук., проф. Габрінець В. О.:

Гарна інженерна робота, мені сподобалась. Доповідач гідно тримається та відповідає на питання. Я багато бачив дисертацій, ця заслуговує на захист.

Канд. техн. наук., доц. Кулабухов А. М.:

В цілому це гарна інженерна робота, яка має своє практичне значення. Я вважаю, що роботу можна рекомендувати до захисту.

ВИСНОВОК

Актуальність теми дисертації.

Проблеми силових елементів у ракетних двигунах є актуальними і до сьогодні. Актуальність підвищення експлуатаційних характеристик силових елементів ракетних двигунів чітко простежується в тенденціях розвитку сучасної космічної галузі. Технологічний прогрес і підвищений інтерес до освоєння космосу призвели до необхідності вдосконалення конструкції ракетних двигунів для досягнення більш високих показників продуктивності та ефективності.

Зокрема, використання передових матеріалів і технологій виготовлення дозволяє зменшити вагу силових елементів і підвищити їхню ефективність. Інтеграція композитних матеріалів, вуглецевих волокон і титанових сплавів стає важливим кроком на шляху до створення легших і міцніших конструкцій.

Топологічна оптимізація з використанням передових алгоритмів і обчислювальних методів дозволяє спроектувати оптимальну форму і структуру силового елемента, зменшуючи вагу і витрату матеріалу. Це особливо важливо для ефективної роботи ракетних систем, де кожен кілограм ваги має вирішальне значення для об'єму палива та маневреності ракети.

Інноваційні технології та чисельне моделювання сприяють розробці надійних та ефективних ракетних систем, дозволяючи всебічно аналізувати силові елементи за різних умов експлуатації.

Таким чином, підвищення характеристик силових елементів є важливим напрямком удосконалення ракет-носіїв, що відповідає вимогам сучасної космічної галузі та сприяє розвитку систем ракет-носіїв нового покоління.

Затвердження теми та плану дисертації. Тема дисертації «Підвищення експлуатаційних характеристик силових елементів ракетних двигунів» затверджена вченою радою Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, науковим керівником призначено кандидата технічних наук, доц. Ю. В. Ткачова (протокол № 4 від 19.11.2020 р.) Згідно витягу з протоколу засідання вченої ради фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара ухвалено уточнити тему дисертаційної роботи Бондаренка Олега Євгенійовича як «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів» (протокол №7 від 06.02.2024 р.).

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана на кафедрі ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара та повністю відповідає Концепції Загальнодержавної цільової науково-технічної космічної програми України, яка націлює вчених і конструкторів на економічну ефективність прийнятих технічних

рішень, дослідження та впровадження новітніх підходів та поглядів на створення принципово нових зразків ракетно-космічної техніки. Дисертація відповідає основним напрямом досліджень фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Наукова новизна та практичне значення підтверджені Актом реалізації, засвідченими відповідальними особами ТОВ «ФЛАЙТ КОНТРОЛ».

Особистий внесок здобувача полягає в активній участі у всіх етапах дослідження. Чисельному моделюванню та аналізу результатів розрахунків. Це охоплює вивчення наукових джерел, розробку методів проведення експериментів, планування та здійснення практичних досліджень, обробку та аналіз отриманих даних.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, які сформульовані в дисертації. Достовірність забезпечується їхнім узгодженням із проведеними експериментальними дослідженнями, а також з відомими та доступними результатами, які були отримані за допомогою існуючих та перевірених методів розрахунку.

Наукова новизна одержаних результатів:

- вперше проведена оптимізація геометрії кронштейнів кріплення, силових рам для реальних конструкцій РРД малої тяги для розгінного блоку, які у складі двигуна пройшли ряд вогневих випробувань;
- доведено, що граничні умови, які встановлюються при топологічній оптимізації конструкції елементів, залежать від типу навантаження і особливостей зони прикладення навантаження;
- 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 результатів дослідження:

- розроблена, експериментально та практично підтверджена нова методика топологічної оптимізації у вигляді структурованого алгоритму, за якою можна забезпечити удосконалення масової ефективності силових елементів конструкції двигунних установок ще на етапі проєктування для подальшого виготовлення адитивними методами. Вперше одержані конструктивні елементи, які підтверджують цієї методики на виробництві;
- запропонований новий підхід до інтеграції чисельного моделювання у середовищі CAE Discovery Live в процеси технологічної підготовки виробництва елементів конструкцій двигунних установок із застосуванням адитивних технологій, який вперше впроваджений та реалізований на виробничій базі FlightControl Propulsion;
- виконані дослідження можливості топологічної оптимізації елементів конструкції двигунних установок, виготовлених із композиційних матеріалів, на основі яких вперше запропонована методика для підвищення масової досконалості композитних конструкцій, ефективність якої підтверджена під час чисельного моделювання ракетного двигуна на твердому паливі;

Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях та особистий внесок у них автора. Результати досліджень відображено у 9 наукових

публікаціях: 6 статей (у вітчизняних фахових виданнях категорії Б), 3 матеріалів міжнародних та вітчизняних конференцій.

Публікації Бондаренка О. Є. відповідають вимогам пп. 8, 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 від 12 січня 2022 р. № 44 (із змінами).

Список робіт, опублікованих за темою дисертації та конкретний внесок здобувача:

Список публікацій, у яких опубліковано основні наукові результати дисертації.

1. Бондаренко О. Є. та ін. Особливості топологічної оптимізації силових елементів РРД, виготовлених адитивними методами. *Journal of Rocket-Space Technology*. 2024. Т. 29, № 4. С. 106–111. URL: <https://doi.org/10.15421/452111> **(фахове видання, категорія Б)**
2. S. S. Vekilov et al. Distinctive features of SLM technology application for manufacturing of LPRE components. *Journal of Rocket-Space Technology*. 2021. Vol. 29, no. 4. P. 112–123. URL: <https://doi.org/10.15421/452112> **(фахове видання, категорія Б)**
3. Бондаренко О. Є., Ткачов Ю. В. Підвищення масової досконалості композитних циліндричних оболонок баків РКТ. Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки, 2024. Т. 34(1), С. 38-48. <https://doi.org/10.15421/472404> **(фахове видання, категорія Б)**
4. Білоцерковський І. В., Бондаренко О. Є. Синтез конструкторських рішень проектування лопаткових машин, виготовлених адитивними методами. Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки, 2024. Т. 34(1), С. 23-37. <https://doi.org/10.15421/472403> **(фахове видання, категорія Б)**
5. Bondarenko O., Tkachov Y. Numerical modeling of the stress-strain state of power frames of liquid rocket engines of low. Математичне моделювання, 2024. Т. 50(1), Р. 194-201. [https://doi.org/10.31319/2519-8106.1\(50\)2024.305937](https://doi.org/10.31319/2519-8106.1(50)2024.305937) **(фахове видання, категорія Б)**
6. Бондаренко, О. Є., Ткачов, Ю. В. Удосконалення масової ефективності силового корпусу насоса високого тиску. Вісник Дніпровського університету імені Олеся Гончара. Серія: Ракетно-космічна техніка, 2024. Т.33(1), С. 118-124. <https://doi.org/10.15421/452416> **(фахове видання, категорія Б)**

Список публікацій, які засвідчують апробації матеріалів дисертації

1 Бондаренко О. Є. Синтез конструкторських рішень для корпусів високотискових насосів // О. Є. Бондаренко, О. П. Бадун, Ю. В. Ткачов // I Міжнародна науково-практична конференція «Виклики та проблеми сучасної науки». 2023. С. 52.

2 Бондаренко О. Є. Раціональність використання матеріалу в силових конструкціях ракетної техніки // О. Є. Бондаренко, Ю. В. Ткачов // XXV Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і Космос». Збірник тез. – 2023. С. 141.

3 O. Bondarenko. The use of topological optimization methods on the examples of problems of strength of rocket and space structures // A. F. Sanin, V.I. Lipovskyi, O.E. Bondarenko, V.I. Shynkaruk // INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE «ACTUAL PROBLEMS OF MECHANICS – 2023». Збірник тез. – 2023. С. 276.

На підставі заслуховування та обговорення доповіді О. Є. Бондаренка про основні положення дисертаційної роботи, питань та відповідей на них, виступів фахівців

УХВАЛИЛИ:

1. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів дисертація Бондаренка Олега Євгенійовича на тему «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів», подана на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка, відповідає 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)).

2. Рекомендувати дисертацію Бондаренка Олега Євгенійовича на тему «Удосконалення масової ефективності силових елементів ракетних двигунів» до захисту в спеціалізованій вченій раді для разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

3. Рекомендувати вченій раді університету розглянути питання про створення спеціалізованої вченої ради для разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка Бондаренка Олега Євгенійовича у складі:

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Місце основної роботи, підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності, за якою захищена дисертація, рік присудження	Вчене звання (за спеціальністю, кафедрою), рік присвоєння	Наукові публікації, опубліковані за останні п'ять років, за науковим напрямом, за яким підготовлено дисертацію здобувача
1	2	3	4	5	6
1	Габрінець Володимир Олексійович (голова)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій	Доктор технічних наук, 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, 1995 р.	Професор кафедри інформаційних технологій та інформаційних систем, 2002 р.	1. Bondarenko, M., & Gabrinets, V. (2023). THRUST VECTOR CONTROL OF SOLID ROCKET MOTORS FOR TACTICAL MISSILES. Journal of Rocket-Space Technology, 31(4), 26-31. https://doi.org/10.15421/452304 (фахове видання, категорія Б). 2. Igor I. Andrianov · Jan Awrejcewicz · Galina A. Starushenko · Vladimir A. Gabrinets Refinement of the Maxwell formula for composite reinforced by circular cross-section fibers. Part I: using the Schwarz alternating method, Acta Mech 231, 4971–4990 (2020) https://doi.org/10.1007/s00707-020-02788-3 (Scopus). 3. Igor I. Andrianov · Jan Awrejcewicz · Galina A. Starushenko · Vladimir A. Gabrinets Refinement of the Maxwell formula for a composite reinforced by circular cross-section fibres. Part II: using Padé approximants Acta Mech 231, 5145–5157 (2020) https://doi.org/10.1007/s00707-020-02789-2 (Scopus).
2	Павленко Дмитро Вікторович (опонент)	Національний університет «Запорізька політехніка» Міністерство освіти і науки України, завідувач кафедри технологій авіаційних двигунів	Доктор технічних наук, 05.03.05 – процеси та машини обробки тиском, 2021 р.	Професор кафедри технології авіаційних двигунів, 2022 р.	1. V. V. Usov, N. M. Shkatuliak, N. I. Rybak, M. O. Tsarenko, D. V. Pavlenko, D. V. Tkach, and O. O. Pedash, Texture and Anisotropy of Mechanical Properties of Inconel 718 Alloy Products Obtained by 3D-Printing from Powders, Metallofiz. Noveishie Tekhnol., 45, No. 1: 111–125 (2023) DOI: 10.15407/mfint.45.01.0111 (фахове видання, категорія А, Scopus). 2. Tarasov, O., Vasylieva, L., Altuhov, O., Pavlenko, D., Tkach, D. (2023). Development of Integrated CAD/CAE Systems Based on Parameterization of the Simulated Process. In: Nechyporuk, M., Pavlikov, V., Kritskiy, D. (eds) Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering - 2022. ICTM 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 657. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36201-9_56 (Scopus).

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Місце основної роботи, підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності, за якою захищена дисертація, рік присудження	Вчене звання (за спеціальністю, кафедрою), рік присвоєння	Наукові публікації, опубліковані за останні п'ять років, за науковим напрямом, за яким підготовлено дисертацію здобувача
1	2	3	4	5	6
					3. Pavlenko, Dmytro and Kondratiuk, Eduard and Torba, Yuriy and Vyshnepolskyi, Yevhen and Stepanov, Dmytro, Improving the Efficiency of Finishing-Hardening Treatment of Gas Turbine Engine Blades (February 27, 2022). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1 (12 (115)), 31–37, 2022. doi: https://doi.org/10.15587/1729-4061.2022.252292, Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=4071115 (фахове видання, категорія А, Scopus).
3	Долгополов Сергій Іванович (опонент)	Інститут технічної механіки НАН і ДКА України, відділ динаміки гідродинамічних і віброзахисних систем, старший науковий співробітник	Кандидат технічних наук, 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки літальних апаратів, 2006 р.	Старший науковий співробітник, 2007 р.	1. Dolgoplov, S. I. (2023). Generalization of Experimental Elasticity of Cavitation Bubbles in LRE Pumps that Differ Significantly in Size and Performance. Sci. innov., 19(5), 71–88. https://doi.org/10.15407/scine19.05.071 (фахове видання, категорія Б). 2. Dolgoplov, S., Nikolayev, O. Features of mathematical modeling of nonlinear Pogo oscillations of launch vehicles. CEAS Space J (2024). https://doi.org/10.1007/s12567-024-00541-3 (Scopus) 3. Pylypenko, O. V., Dolgoplov, S. I., Nikolayev, O. D., and Khoriak, N. V. (2024). Mathematical Mo-deling of the Transient Processes in Propulsion System of the Upper Stage of the Cyclone-4M Launch Vehicle. Sci. innov., 20(1), 49–67. https://doi.org/10.15407/scine20.01.049 (фахове видання, категорія Б).
4	Карпович Олена Володимирівна (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій,	Кандидат технічних наук зі спеціальності 05.07.04 - технології виробництва літальних апаратів,	Доцент кафедри технології виробництва, 2011 р.	1. Карпович О.В., Сіренко М.К. Перспективи розвитку 3D-друку виробів у авіаційній та ракетно-космічній галузі із полімерних матеріалів з композиційним армуванням. Вісник Дніпровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. Том. 30. №4. – 2022. – С. 9–14. http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/11/RST%202022 DOI: https://doi.org/10.15421/452202 (фахове видання, категорія Б).

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Місце основної роботи, підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності, за якою захищена дисертація, рік присудження	Вчене звання (за спеціальністю, кафедрою), рік присвоєння	Наукові публікації, опубліковані за останні п'ять років, за науковим напрямом, за яким підготовлено дисертацію здобувача
1	2	3	4	5	6
		Міністерство освіти і науки України	17.01.2008 р.		2. Карпович, Е. В. ., Карпович, И. И. ., & Кулик, А. В. . (2022). СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОЛЕЙ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКЕ ОДИНОЧНОГО ВАЛИКА НА ПОДЛОЖКУ И НАГРЕВА СЛОЯ ПОРОШКА В ТРАНСПОРТИРУЮЩЕМ ГАЗЕ. System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics, 26(1), 99-107. https://doi.org/10.15421/471915 (фахове видання, категорія Б). 3. Карпович О.В., Сіренко М.К. Моделювання вузла подавання армуючого волокна при 3Dдруку виробів із полімерних матеріалів з композиційним армуванням у авіаційній та ракетно-космічній галузі// Вісник Дніпровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. Том. 31. №4. –2023. – С. 116–120. https://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/12 DOI: https://doi.org/10.15421/4523310101 (фахове видання, категорія Б).
5	Кулик Олексій Володимирович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій	Кандидат технічних наук, 05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів, 2004 р.	Доцент кафедри технології виробництва, 2011 р.	1. Kiselyov, P., Klymenko, S., & Kulyk, O. (2023). IMPROVEMENT OF THE ULTRASONIC METHOD OF CHECKING WELDED JOINTS OF PRODUCTS MADE OF POWDER MATERIALS MADE BY 3D PRINTING. Journal of Rocket-Space Technology, 31(4), 81-87. https://doi.org/10.15421/452311 (фахове видання, категорія Б). 2. Shashko, Y., AdjamskiyS., Kazeev, S., Sanin A., & Kulyk O. (2021). ANALYSIS OF THE POSSIBILITY AND PROSPECTS OF USING THE BLASTING METHOD FOR CLEANING THE CLOSED BLADES OF TURBINE MONO WHEELS MANUFACTURED BY THE ADDITIVE METHOD OF THE SLM TECHNOLOGY. Journal of Rocket-Space Technology, 29(4), 132-137. https://doi.org/10.15421/452114 (фахове видання, категорія Б)

№	Прізвище, ім'я, по батькові	Місце основної роботи, підпорядкування, посада	Науковий ступінь, шифр, назва спеціальності, за якою захищена дисертація, рік присудження	Вчене звання (за спеціальністю, кафедрою), рік присвоєння	Наукові публікації, опубліковані за останні п'ять років, за науковим напрямом, за яким підготовлено дисертацію здобувача
1	2	3	4	5	6
					3. Шашко, Ю. ., Кулик, О. В. ., & Санін, А. . (2022). ВИКОРИСТАННЯ АДТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ЗАГОТІВОК ДИСКІВ ТУРБІН ТУРБОНАСОСНИХ АГРЕГАТІВ. System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics, 27(2), 169-176. https://doi.org/10.15421/471937 (фахове видання, категорія Б).

Усі кандидатури членів ради відповідають вимогам пп. 14, 15 «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).

Результати відкритого голосування:

«За» – 21 особи.

«Проти» – немає.

«Утрималися» – немає.

Рішення прийнято одноголосно.

Голова міжкафедрального семінару



Анатолій САНІН

Секретар



Тетяна ЛАБУТКІНА