

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

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



**ВИСНОВОК**

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Векілова Саміра Шамсійовича «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій», представленої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

**Витяг**

з протоколу №1 від 11 квітня 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:** 23 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); науковий керівник канд. фіз.-мат. наук, доц. Ліповський В. І. (01.02.04 – механіка деформованого твердого тіла); д-р. техн. наук, проф. С. О. Давидов (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів); 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); 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., 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. Авдеев (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).

**Запрошені:** д-р. техн. наук, проф. С. В. Єпіфанов (05.07.05 – двигуни та енергоустановки літальних апаратів (трансформована у спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), ст. в. Колесніченко О. В., к. т. н., доц. Хорольський М. С. (05.17.12 – технологія каучука і гуми) та інші.

**Порядок денний:** розгляд і обговорення дисертаційної роботи Векілова Саміра Шамсійовича «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій», 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 фізико-математичних наук, доц. В. І. Ліповського (протокол № 4 від 19.11.2020 р.), та уточнена вченою радою 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 Векілова Саміра Шамсійовича «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій», поданої на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

За результатами перевірки дисертаційної роботи Векілова Саміра Шамсійовича «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій» на плагіат програмою «StrikePlagiarism» виявлено, що унікальність тексту складає



99.07%. Таким чином, на підставі перевірки зроблено висновок: робота Векілова С. Ш. має високий рівень оригінальності, і здобувач Векілов С. Ш. може бути допущений до її захисту.

Перевірку на плагіат здійснювала комісія у складі канд. техн. наук, доц. кафедри двигунобудування О. М. Пономарьова; канд. техн. наук, доц. кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій С. О. Полішка; д-ра техн. наук, проф. кафедри кібербезпеки і комп'ютерно-інтегрованих технологій О. В. Голубека.

Робота виконана на 7.19 авторських аркушах, робота структурована, є анотація, зміст, вступ, основна частина, висновки, перелік джерел і додатки.

#### **Доповідь С. Ш. Векілова:**

Доброго дня. До вашої уваги надається презентація доповіді щодо результатів дисертаційного дослідження на тему «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій».

Робота складається з 5 розділів. Зміст роботи наведено на слайді.

Мета дисертаційного дослідження полягає у створенні ефективної методики проектування трактів рідинних ракетних двигунів з підвищеними гідравлічними характеристиками на основі визначених залежностей коефіцієнту витрати від комплексу геометричних параметрів відцентрових форсунок, виготовлених із застосуванням адитивних технологій.

Об'єкт дослідження: гідравлічні процеси в трактах РРД, виготовлених із застосуванням адитивних технологій

Предмет дослідження: взаємозв'язок гідравлічних та геометричних параметрів елементів трактів РРД, виготовлених із застосуванням адитивних технологій.

В рамках проведення дослідження, виділено наступні задачі.

- Провести порівняльний аналіз існуючих конструкцій гідравлічних трактів РРД з конструкціями, виготовленими з використанням методів адитивних технологій.

- Провести аналіз нової якості та переваг, що надають методи адитивних технологій для елементів гідравлічних трактів, систем охолодження, сумішоутворення та інших систем РРД.

- Дослідити залежність основних характеристик елементів РРД, виготовлених за допомогою методів адитивних технологій в залежності від зміни геометричних параметрів, що забезпечує повторюваність характеристик в діапазоні  $\pm 5\%$ .

- На основі результатів досліджень розробити методики інженерного проектування та рекомендації щодо використання адитивних технологій при проектуванні та виготовленні гідравлічних трактів РРД.

Наукова новизна

Встановлена залежність величини шорсткості поверхні від кута нахилу відносно базової поверхні в діапазоні від 0 до 180 градусів.



Встановлені значення кутів нахилу поверхонь, при яких шорсткість для вгору та вниз орієнтованих поверхонь набувають своїх екстремальних значень.

Вперше для відцентрових форсунок, виготовлених із застосуванням адитивних технологій, визначено залежність зміни коефіцієнту витрати від їх геометричних параметрів.

Практичне значення

- Розроблено рекомендації щодо мінімального лінійного розміру відтворюваності гідравлічних характеристик елементарних випадків гідравлічного тракту – струминної форсунки, виготовленої адитивним методом.
- Запропоновано і обґрунтовано практичні рекомендації щодо залежності гідравлічних параметрів струминної форсунки від діаметру та відносної довжини сопла.
- Отримано рекомендації щодо проектування гідравлічних трактів із складною конфігурацією з можливістю реалізації поверхонь при 3Д друку, що не потребують розміщення підтримуючих структур.
- Отримана залежність зміни коефіцієнту витрати для відцентрових форсунок, рекомендується до використання при проектуванні для визначення характеристик змішувальних систем головок камери РРД.
- Отримано рівняння нелінійної регресії для визначення залежності значення шорсткості від кута нахилу поверхонь друку, що рекомендується до використання для визначення гідравлічного опору потоку рідини, викликаючи витрати тиску та змін витрати рідини.
- Розроблено методику проектування відцентрових форсунок, виготовлених методами адитивних технологій за уточненою розрахунковою залежністю.
- Створено ефективну систему сумішоутворення камери РРД з показником повноти процесу горіння, який відповідає максимальним показникам у «традиційних» головках камери.

Матеріали дисертації опубліковані у 8 статтях 7 з яких входять до переліку фахових журналів.

В розділі виконано огляд існуючих адитивних технологій. Слід зазначити, що не існує єдиного стандарту через високу активність розвитку у сфері адитивного виробництва. В роботі використовувався існуючий стандарт ISO/ASTM 52900/2015, за яким методи виробництва класифікують по способу підводу термічної енергії. На базі виконаного огляду обґрунтовано вибрали метод вибіркового лазерного плавлення з підстилаючою порошковою подушкою Laser Powder Bed Fusion (або L-PBF).

Переваги

Застосування подібного методу значно підвищує показники ефективності процесу виготовлення, даючи змогу:

1. Знизити тривалість виробничого циклу
2. Знизити виробничі затрати

Номенклатура доступних матеріалів продовжує розширяться та покриває значну кількість матеріалів, що задовольняє потребам сучасних РРД.



Однак основною особливістю технології є відносно висока шорсткість отримуваних поверхонь та необхідність до реінжинірингу відомих технічних рішень, що треба брати до уваги особливо на ранніх етапах проектування. Також до недоліків можна віднести обмеженість виконання геометричних розмірів та невисокий виробничий темп при серійному виробництві.

Таким чином доцільно експериментально дослідити шорсткість поверхонь при адитивному виробництві.

З метою дослідження особливостей отримуваних деталей, виготовлено 18 зразків тестових прямих пластин та досліджено шорсткість зразків металографічним методом на обладнанні компанії FlightControl Propulsion. Експериментально визначено, що шорсткість поверхонь залежить від орієнтації поверхонь, відносно напрямку друку. Умовно розділяють «догори» і «донизу» орієнтовані поверхні.

Враховувались кути нахилу друківаних поверхонь та їх орієнтація відносно напрямку побудови деталі. Шорсткість поверхні визначалась для трьох напрямів з метою можливості подальшого осереднення отримуваних параметрів.

Для визначення зміни параметру шорсткості в умовах реальних виробів, було досліджено 4 типи змішувальних елементів. Для кожної з розглянутих деталей відповідні поверхні було помічено буквою латинського алфавіту.

Отримані результати якісно співпадають з характером шорсткості, отриманої на тестових зразках. Слід зазначити, що має місце певне відхилення кількісних показників від отриманих експериментальних даних тестових зразків, однак така розбіжність може бути пояснена рядом основних факторів, обумовлених технологією 3Д друку.

Однак, слід зазначити, що приведені експериментальні дані тестових зразків хоча кількісно і можуть давати певну розбіжність, однак можуть бути використані на етапах попереднього проектування, як довідкові.

Згідно отриманих даних, проведемо аналіз прямого реінжинірингу існуючих варіантів виконання відцентрових форсунок. На слайді видно, що вимоги, сформовані до класичної схеми виконання відцентрових форсунок не можуть бути реалізовані методом адитивних технологій:

1. Шорсткості поверхонь
2. Можливості реалізації поверхонь, що не потребують розташування

підтримуючих структур.

Таким чином, існує потреба у вивченні можливостей проведення глибокої адаптації відомих технічних рішень, а саме у:

1. Вивченні властивостей найпростіших гідравлічних трактів РРД з використанням адитивної технології.
2. Вивчення можливості реалізації виробів із складною внутрішньою конфігурацією гідравлічних трактів
3. Вивчення отримуваних властивостей змішувальних елементів РРД з використанням адитивної технології.

Експериментально дослідимо ці питання для елементів гідравлічних трактів РРД.



Послідовно розглянуто наступні елементи гідравлічних трактів: струминні форсунки, тангенціальні отвори, пояси завісного охолодження, відцентрово-відцентрові форсунки, середні частини та циліндри камери РРД. Визначалися геометричні характеристики елементів, які дозволяли б реалізувати гідравлічну повторюваність в діапазоні  $\pm 5\%$ .

#### Струминні форсунки

Виготовлено 67 зразків струминних форсунок у широкому діапазоні зміни геометричних параметрів.

Під час експериментального дослідження використовувалась схема, приведена на слайді. Маючи на увазі, що виготовлені зразки у діапазоні відносних довжин від 0.5 до 6, то загальна кількість перевищувала позначку 800 випробувань.

Результатом проведених випробувань стала добірка із необхідної експериментальної інформації, та отримано залежність зміни показників коефіцієнту витрати для досліджених зразків струминних форсунок. Висновком щодо проведеної роботи стало визначення мінімального діаметру в 1 мм сопла струминної форсунки, при забезпеченні якого повторюваність гідравлічної характеристики лежала б у діапазоні  $\pm 5\%$ .

#### Наступний елемент.

Було виготовлено 48 зразків кілець з тангенціальними отворами для визначення особливостей зміни повторюваності гідравлічної характеристики від типорозміру отворів.

Для тангенціальних отворів характерна наявність більшої шорсткості у верхній частині поперечного перерізу через особливість технології виробництва. Таким чином, проведено визначення форми та розмірів тангенціальних отворів. Спільним показником стала площа поперечного перерізу, характерна для круглих отворів з діаметрами 1, 1.5 і 2 мм. Розглядалися наступні форми поперечних перерізів тангенціальних отворів для наступного діапазону тиску рідини на вході.

Під час виконання дослідження, було дотримано наступної схеми експериментальної установки.

За отриманими результатами гідравлічних випробувань, отримано показники коефіцієнту витрати для 1 отвору. Подальша обробка результатів дозволила отримати дані щодо коефіцієнту витрати для виготовленого ряду зразків. З точки зору повторюваності коефіцієнту витрати, рекомендовано використовувати прості круглі отвори у всьому діапазоні розглянутих параметрів та позитивними є результати випробувань для краплевидних отворів з площею поперечного перерізу, еквівалентною круглomu отвору 1.5 мм і більше.

#### Наступний елемент.

З метою дослідження можливості виготовлення поясів завісного охолодження, виготовлено 8 зразків. Проведено варіювання формою, розмірами та кутом нахилу відносно повздовжньої осі для каналів решітки.

Для конструкції застосовано поняття проникності решітки. Випробування проводилися для 2 режимів по масовій секундній витраті: 36 г/с та 123 г/с. На меншому режимі візуально проводилося спостереження за поведінкою потоку



рідини на виході з поясу. Зразки механічно не оброблювались, поверхні розтікання не полірувались. Метою була перевірка можливості роботи поясу в найгірших умовах – без полірування.

Отримані результати спостереження свідчать про значний вплив решітки на течію рідини на виході.

За результатами:

- Підтверджена можливість виготовлення поясів завісного охолодження камери РРД та отримані дані щодо їх характеристик.

- За результатами спостережень наведені наступні рекомендації щодо виконання відносних параметрів поясів завісного охолодження.

Наступний елемент.

З метою дослідження характеристик відцентрових форсунок виготовлено та експериментально досліджено 227 варіантів виконання у різному діапазоні зміни геометричних параметрів. Під час дослідження було вирішено розділити форсунки на 4 основні групи.

У I, II та III групах виготовлялись двокомпонентні відцентрово-відцентрові форсунки. Умовно зразки конструкції розділені на внутрішню – форсунку 1 та зовнішню – форсунку 2.

Для форсунок групи I фіксованого значення набувала масова секундна витрата з подальшим вимірювання перепаду тиску на форсунці. Отримані результати відображають зміну коефіцієнту витрати в залежності від геометричних параметрів форсунок групи I. Заміряні значення кутів розпилу форсунок.

Для форсунок групи II фіксованого значення складали перепади тиску рідини на форсунці, а масова секундна витрата отримувалась. Отримані результати відображають зміну коефіцієнту витрати в залежності від геометричних параметрів форсунок групи II. Заміряні значення кутів розпилу форсунок.

Для форсунок III групи визначалась масова секундна витрата при фіксованому значенні тиску подачі рідини.

Для групи IV проведено дослідження з впливу типорозміру тангенціальних отворів на характеристики виготовлених форсунок. Варіювались форми тангенціальних отворів при збереженні сумарної площі поперечного перерізу. Гідравлічні випробування проводились при фіксованому тиску подачі рідини.

За результатами проведених робіт визначена повторюваність гідравлічних характеристик для всіх розглянутих груп форсунок. Виконані елементи узгоджуються з попередніми рекомендаціями. Всі групи форсунок лежать у допустимому діапазоні повторюваності гідравлічних характеристик.

Рекомендовано до виконання геометричні параметри, що були перевірені експериментально.

Наступний елемент.

Для перевірки можливості виготовлення трактів регенеративного охолодження, інтегрованих у склад типових конструкцій РРД, було вирішено виготовити зразки середніх частин та циліндрів.



Середні частини виготовлені у кількості 4 шт. Конструкція була спроектована з метою забезпечення інваріантності осьової орієнтації під час процесу друку. Визначення гідравлічних характеристик для зразків довело успішність реалізації такого конструктивного рішення.

Циліндри були виготовлені у кількості 3 шт. з різною формою та розмірами поперечного перерізу каналів охолодження. Отримані гідравлічні характеристики підтверджують можливість успішного реінжинірингу типових конструкцій РРД з інтегрованою системою регенеративного охолодження.

Розглянуті всі елементи гідравлічних трактів відповідають визначеним вище умовам повторюваності гідравлічних характеристик. Тоді доцільно розглянути ефективність роботи форсунок в якості інтегрованих елементів системи сумішоутворення.

За наведеними даними характеристик відцентрових форсунок, проведено експериментальне дослідження ефективності роботи систем сумішоутворення (змішувальних головок), побудованих на базі даних по тестових зразків відцентрових форсунок. Отримані результати порівняні із паяно-зварюваним варіантом змішувальної головки на базі «класичних» форсунок. Такий варіант налічує 37 відцентрово-відцентрових форсунок та характеризується високим показником ефективності процесу горіння 0.975 та приведеною довжиною камери 1.58 м. Виготовлено та експериментально досліджено 3 варіанти камер на базі «класичних» змішувальних елементів. Подальше розглядання характеристик досліджених об'єктів будемо вести відносно нього.

Усі варіанти змішувальних головок були експериментально перевірені у складі камер двигуна, працюючого на компонентах палива АТ-НДМГ і діапазону тягових можливостей від 200 до 550 кгс.

Побудовано 4 основних варіанти змішувальних головок, виготовлених адитивним методом. Ефективність процесу оцінювалась за допомогою показника повноти процесу горіння. Розглядалися варіанти з 7, 19 двокомпонентними відцентрово-відцентровими форсунками. Приведена довжина камери двигуна приймала 2 значення: 1.58 та 2 м.

Перший та другий варіанти склалися із 19 форсунок та приведеною довжиною 1.58 м. Ефективність роботи 0.94 та 0.95, що свідчить про низькі енергетичні характеристики.

Для третього варіанту було вирішено знизити дискретність системи до 7 відцентрово-відцентрових елементів та приведена довжина 1.58 м. В цьому випадку ефективність процесу значно знизилась до 0.91.

Подальший пошук ефективного рішення зводився до побудови змішувальної головки на базі 19 форсунок і збільшення приведеної довжини камери до 2 м. Такий комплекс рішень позитивно сказався на показнику ефективності процесу та обумовив його значення 0.975.

Розглянуті варіанти змішувальних головок на базі виготовлення за допомогою адитивної технології дозволив зробити наступні висновки.



1. Підтверджена можливість виготовлення адаптованих для адитивної технології рішень комплексних змішувальних головок РРД на базі відцентрових форсунок.

2. Підтверджена можливість збереження високих показників ступеню завершеності процесу горіння для змішувальних головок, виготовлених на базі адитивної технології.

Експериментальні результати дозволяють визначити моделі та методики, які можуть бути використані при проектуванні РРД на базі адитивних технологій.

Розділимо два випадки орієнтації поверхонь деталей, виготовлених із застосуванням технології L-PBF: вгору та вниз орієнтовані поверхні. Якісна поведінка параметру шорсткості показана на рисунку 33.

Для прогнозування значень щодо шорсткості поверхонь, отримуваних методом адитивних технологій, практичний інтерес представляє собою можливість прогнозування параметру в залежності від кута нахилу і орієнтації поверхні.

На базі отриманих експериментальних даних, побудуємо залежність параметру шорсткості  $R_a$  від кута нахилу поверхні.

Отримано залежності для «вгору» і «вниз» орієнтованих поверхонь.

Оцінка за критерієм Фішера підтверджує адекватність вибраної моделі. Отримані функціональні залежності можуть бути використані для прогнозування значень шорсткості поверхонь на ранніх етапах проектування.

На базі отриманих даних щодо роботи відцентрових форсунок, проведено аналіз залежності характеристик від їх геометричних параметрів. Порівняння з класичними методами та відомими залежностями розрахунку доводить значну розбіжність між теоретичними та практичними значеннями коефіцієнту витрати. На рисунку 36 приведено порівняння отриманих теоретичних та експериментальних значень коефіцієнтів витрати для всього діапазону досліджених відцентрових форсунок. Отримані результати свідчать про неможливість прогнозування коефіцієнта витрати за відомими залежностями.

На базі експериментальних даних проведено власну оцінку можливої математичної моделі для описання залежності коефіцієнту витрати від геометричної характеристики форсунки. Отримана залежність дозволяє більш точно прогнозувати значення коефіцієнту витрати для відцентрових форсунок, виготовлених за адитивною технологією. На рисунку 37 виділено 3 зони максимального відхилення розрахункових від експериментальних значень. Перша 1 зона – це зона 4-ї групи форсунок, де мало місце варіюванням формою тангенціальних отворів, що не враховується в запропонованій залежності та є предметом окремого дослідження. 2 та 3 області – це точкові відхилення, що можуть бути пояснені особливостями технології під час процесу виробництва. Вони мають значне відхилення при подібних до інших зразків, геометричних параметрах. Тому, можливе виключення таких значень з врахування.

Запропоновано методику розрахунку відцентрових форсунок, яка реалізована наступним чином.



Запропонована методика може більш точно описувати характеристики відцентрових форсунок, виготовлених за адитивною технологією.

За результатами проведеного дослідження, досягнуто усіх задач.

Висновки

- Експериментально досліджено елементи гідравлічних трактів РРД, виготовлених адитивними технологіями. Визначені геометричні параметри елементів, які забезпечують повторюваність гідравлічних характеристик.
- Експериментально підтверджено високу ефективність отриманих результатів для змішувальних головок на базі адитивних технологій.
- Побудовані залежності, які дозволяють на етапі попереднього проектування визначати характеристики виробів на базі адитивних технологій.

Дякую за увагу.

## ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ:

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

**Питання:** *Яким чином Ви визначаєте величину втрат в форсунках, виготовлених із застосуванням адитивних технологій? Яка їх величина в порівнянні з існуючими форсунками?*

**Відповідь:** Величина втрат закладається у формулу до коефіцієнту витрати (слайд 56), що опосередковано має обернено пропорційну залежність від коефіцієнту втрат тиску у трактах. Тобто, який складається з втрат на тертя та втратами на місцевий супротив. Для відцентрових форсунок рідинних ракетних двигунів використовується коефіцієнт витрати, на базі цього я і базував своє дослідження. Щодо залежності порівняно з іншими форсунками, нажаль я не привів цих даних, але привів запропоновані розрахунки відносно інших розрахункових формул інших авторів, що були розглянуті в огляді літературі, на них я роблю посилання (слайд 54). А далі (слайд 55), для наглядної демонстрації некоректності застосування цих формул я наводжу графіки, на яких по осі ординат я відкладаю теоретичні значення, отримані за цими формулами відомими в літературі, а по осі абсцис - експериментально отримані значення. Можна бачити, що в разі позитивного використання формули, ми повинні були мати пряму лінію з набором точок, що відстають один від одного з невеликим інтервалом (слайд 57), лінія повинна проходити під 45 градусів. Для запропонованих залежностей (слайд 55), що відомі з літератури, такий тренд не відбувається, значить для форсунок, виготовлених адитивними методами є зони, де застосування формул залежностей для визначення коефіцієнту витрати не можливе (наступний слайд 56). Тому пропонується така форма коефіцієнту витрати, де опосередковано закладено всі втрати тиску (втрати тиску на місцеві супротиви та втрати тиску на тертя), і пропонується залежність (слайд 57), яка, на нашу думку, добре описує розглянутий експериментальний ряд.

**Питання:** *Багато говорили про шорсткість. Ви знаєте класичні дослідження Нікурадзе? Там конкретно застосовується величина розміру шорсткості, величина виступів. Ви не сказали, яка у Вас шорсткість, яка у Вас висота виступів, як вимірюється шорсткість, а багато про неї розмов було. Що можете сказати відносно цього?*



**Відповідь:** Я згоден з Вашим зауваженням, але через регламент не можу все вмістити у доповіді. Розгляду цього питання присвячена частина моєї дисертації. Нікурадзе досліджував переважно пісочну шорсткість і умовно на базі його досліджень був поштовх для розділення шорсткості на два великі напрямки – це шорсткість штучна та шорсткість натуральна. Пісочна шорсткість – це шорсткість, якою користуються та до якої прив'язуються при гідравлічних випробуваннях. Для випадку технології адитивного виробництва, отримана шорсткість радше являється натуральною шорсткістю з можливістю одиничних виступів, значно відрізняючись від інших. Ця шорсткість не може бути описана ні як натуральна, ні як штучна, бо в певних випадках при зміні якості поверхні, при зміні кутів поверхні – ці одиничні виступи можуть являтися, як певні тубулізатори потоку, що наприклад застосовуються при формуванні штучної шорсткості. В даному випадку ми обмежилися поняттям середньо інтегральної шорсткості з показником  $R_a$ . Також, в роботі наведені дані щодо виміру шорсткості і  $R_z$ . Такі шорсткості мають певне співвідношення, яке частково співпадає з класичними поняттями. Тобто, в відповідних ГОСТах наведено, що  $R_z/R_a$  має співвідношення 6.4, у нас такі співвідношення трішки неоднозначні, бо з додаванням кута нахилу поверхні проявляється ступінчатий ефект і проявляється точкові налипання порошку, тобто шорсткість неоднорідна. Таким чином, якщо для класичних технологій статистична позначка це 6.4, то для випадку адитивних технологій - значення відношення може приймати 11 і більше. Це описано в дисертаційній роботі.

**Питання:** *Чи оцінювались середні діаметри крапель у факелі розпилу форсунок? Якщо так, то які розміри отримані та як вони змінюються в порівнянні з класичними форсунками.*

**Відповідь:** Це питання в дисертаційному дослідженні не розглядалося. Якість розпилу опосередковано оцінювалась за показником ефективності роботи самої камери, тобто через показник  $\varphi_r$ . За класичною теорією, чим якісніше організований процес, а в тому числі це і рівномірність розпилу і дрібнодиспертність розпилу, тим менше часу потрібно компонентній парі для того, щоб згоріти та утворити продукти згоряння з високою ефективністю. Такий показник оцінюється за показником ефективності  $\varphi_r$ . Тому таке дослідження проводилося лише опосередковано, через показник ефективності.

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

**Питання:** *При проектуванні Вашого об'єкту виробництва обов'язково оговорюється, які використовуються матеріали для цього об'єкту. Ви сказали таку фразу, що у Вас використовується номенклатура матеріалів, чи Ви ними займалися і який саме перелік матеріалів? Оскільки, я не зрозуміла, що це за матеріали, а ми говоримо про шорсткість, про форму, розміри та геометричні параметри. Будь-ласка покажіть таблицю 1 (слайд 16). Які методи визначення шорсткості  $R_a$ ,  $R_z$ , для якого це матеріалу? Це якийсь такий узагальнений клас матеріалів? Що у цій таблиці – Шорсткість зразків для поверхонь, орієнтованих вгору. Для яких поверхонь? Для якого матеріалу проведено дослідження?*



**Відповідь:** В дисертаційному дослідженні, в тексті дисертації дійсно згадується і приводиться перелік матеріалів. Номенклатура матеріалів представлена в огляді під час обґрунтування вибору технології виробництва. Приведена таблиця з матеріалами, що доступні у порошковому вигляді для використання технологій L-PBF. Така таблиця не представлена в доповіді, вона присутня у дисертації. Зразки виготовлені з матеріалів Inconel 718 та Haynes 230. також використовувалася сталь AISI316L.

**Питання:** *Скажіть будь-ласка, яка методика у Вас визначення шорсткості?*

**Відповідь:** Був проведений металографічний аналіз.

**Питання:** *Чи були застосовані спеціальні методи порівняння?*

**Відповідь:** Використовувався метод Гауса, проводилась фільтрація отриманих даних після обробки графічного зображення.

**Питання:** *Чи застосовувались, профілометри або профілографи?*

**Відповідь:** Ні, через значну шорсткість поверхні виробів L-PBF виробництва, що може значно пошкодити обладнання.

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

**Питання:** *В огляді чомусь не було сказано про те, які роботи були виконані до Вас. Пам'ятаю, що була дисертація Сергія Аджамського, який також розглядав подібні питання, і у Вашому огляді абсолютно ніякої інформації не було щодо попередніх робіт. Що Ви можете сказати по цьому питанню?*

**Відповідь:** Є посилання на його статтю, в якій цей автор запропонує метод оптимізації гідравлічного тракту рідинного ракетного двигуна з вимірюванням шорсткості.

**Питання:** *Чи залежать ці результати, які Ви зараз нам презентуєте, від особливостей конкретного 3D принтера, бо я не почув, який 3D принтер використовувався. Може Ви використовували самий останній 3D принтер, або якийсь самий старий 3D принтер. Скажіть будь-ласка, яким чином Ваші результати зв'язані з тими особливостями 3D принтерів, які можна використовувати?*

**Відповідь:** На даний момент існує багато компаній, що пропонують послуги такої технології, пропонують своє обладнання. Дійсно для обладнань є певні особливості, це такі особливості, що індивідуально впливають на якість поверхонь, на пористість матеріалів, тобто також на фізико-механічні властивості матеріалів. Таких параметрів у сучасному принтері більше сотні найменувань. В дослідженні використовувалися принтери компанії EOS 400, марки M400 та Sisma 300 та Sisma 100. Такі принтери є дуже розповсюдженим рішенням на глобальному ринку та ця інформація наводиться в дисертації. Вони у даний момент мають перевагу при процесах виробництва елементів трактів ракетних двигунів. Дійсно, всієї вибірки немає для 3D принтерів, але на наш погляд таке запропонування можливе, через те, що це обладнання є дуже розповсюдженими на ринку послуг така логіка була». Результати проведених робіт були осереднені з трьох принтерів, це EOS M400, Sisma 300 та Sisma 100.



**Питання:** *Чи з'явилась у Вас можливість з використанням 3D принтерів запропонувати конструкцію, або форсунок, або елементів форсунок, і таке інше, чого не можливо зробити традиційними технологіями виготовлення. Чи Ви берете лише за основу відомі технічні рішення, які можна виробити звичайними традиційними методами і повторюєте їх на 3D принтері? Підкажіть будь-ласка.*

**Відповідь:** Пропоную поглянути на виготовлені зразки. Це 3D друкована змішувальна головка, в принципі 3D друкована змішувальна головка – вона не є чимось новим для рідинних ракетних двигунів, однак ця головка виготовлена однією суцільною деталлю. Вона використовується разом з ось таким друкованим корпусом, що поєднує в собі пояс завісного охолодження – один, пояс завісного охолодження – два, та інтерфейси підводу, колектори і таке інше. Ось наприклад ті пояси завісного охолодження, які були дослідження, а це – тангенціальні отвори, що також були дослідженні. Моя думка полягає у чому, у тому що – так класичними технологіями можливо виготовити такі рішення, однак не можливо виготовити рідинний ракетний двигун невеликого часового проміжку на виготовлення. Тобто, там економія часу в декілька разів – в 2, 3 рази і більше, і не можливо виготовити ось такий корпус, чи ось таку змішувальну головку однією деталлю так одразу, в одній частині матеріалу, щоб воно не мало місць з'єднання, щоб не повинно було застосовуватись зварювання, паяння і таке інше, щоб при цьому показник ефективності був настільки великим. З цієї точки зору не можливо виготовити камери класичними методами в такому ключі.

**Питання д-р. техн. наук, проф. Давидов С. О.:**

**Питання:** *Які саме нові якості, які недоліки адитивних технологій? Все має свої плюси та свої мінуси. Розкажіть будь-ласка докладніше.*

**Відповідь:** Повністю згоден (слайд 12), у тексті дисертації дійсно згадується і про недоліки, і про переваги, запропоновані методи мають ряд значних переваг в порівнянні з класичними технологіями. Тобто це і широка номенклатура матеріалів, і можливість виготовлення складної геометрії за одну деталь, і скорочення виробничого циклу, і зниження виробничих витрат, і можливість від складного оснащення, від «трудо витрат». Наприклад, якщо не потрібне паяння, використання вакуумних печей та інше оснащення.

**Питання:** *А недоліки?*

**Відповідь:** Недоліки – це висока шорсткість відносно наших класичних розумінь та вимог, що пред'являються до виготовлення виробів рідинних ракетних двигунів, необхідність адаптації рішень, тобто ми не можемо просто взяти та перенести рішення, що сформовані з плином часу і виконати їх з адитивними методами. Потребується певна адаптація через особливості процесу виробництва. До значних недоліків запропонованого методу, також, відносять сильну обмеженість геометричних розмірів. На даний момент відомо, що компанія IOS пропонує максимально можливий габарит друку 0.4x0.4x1 метр, не більше. Ще одним суттєвим недоліком невисокий виробничий темп при багатосерійному виробництві, це дійсно суттєвий недолік.



**Питання:** *А вартість оцінювалась?*

**Відповідь:** В даній роботі вартість не оцінювалась.

**Питання:** *Чи порівнювались міцнісні характеристики виробів з отриманими за традиційними технологіями?*

**Відповідь:** Я роблю посилання на літературу в тексті дисертації, в якій, дійсно, показано, що при збереженні виробничих умов, тобто при збереженні пост-обробки, термічної обробки зразків, механічні властивості зразків, виготовлених методами адитивної технології, не є нижчими ніж для же зразків, виготовлених класичними методами.

**Питання к. т. н., доц. Карпович О. В.**

**Питання:** *На графіку запропонованою Вами залежності виділено 4-групи форсунок, поясніть, на підставі чого ви проводили групування?*

**Відповідь:** Для запропонованої залежності є певні відхилення, навіть для неї є певні відхилення теоретичних, розрахункових значень, від реально отриманих значень. Щодо першої зони, вона виділена цифрою 1, це значення форсунок групи 4, що були виготовлені з варіюванням форми та розмірів тангенціальних отворів. Форма варіювалася і вплив форми не визначався і немає залежності врахування зміни форми. Для другої і третьої цифр, це точки, що наявні для експериментальних даних. Ми нажаль не проводили металографічний аналіз цих зразків, але є всі підозри вважати, що ці форсунки виходять за рамки норм, за рамки виготовленої партії, тобто це брак.

**Питання:** *Чи визначалися втрати по всьому гідравлічному тракту?*

**Відповідь:** Так, визначалися, в роботі наведені дані.

**Питання:** *Щодо запропонованої вами залежності. Ви розрахували коефіцієнт кореляції для цих даних? Якість даних може бути значною, але відхилення можуть бути помітними. Наскільки точно для інших форсунок передбачаються ці дані? Чи можна визначити наскільки відрізняється лінійна залежність від реальних значень? Якщо ви це врахуєте при виробництві, це може мати великий вплив. Чи ви можете визначити, наскільки ці відхилення будуть виявлені?*

**Відповідь:** Дійсно, ми визначили ступінь відхилення від експериментальних значень від теоретичних значень, розрахованих за запропонованою залежністю. В дисертаційній роботі є таблиця в якій вони наводяться. Тому я й акцентую на цьому увагу, що для більшості форсунок таке відхилення лежить в діапазоні до 10 %, що повністю неможливе із розглянутими залежностями (слайд 55). Тут немає такої точності, а для запропонованої залежності є точкові відхилення. Також, є групове відхилення, воно пояснюється і типом форсунки і варіюванням типу-розміру форсунки, так, а ці точкові відхилення 2 та 3 – вони сильно виділяються з поміж взагалі всієї партії. Тому на нашу думку, ми можемо ці форсунки не брати у врахування.

**Питання:** *Ви пропонуєте один тип форсунок, який Ви можете прогнозувати?*

**Відповідь:** Ні, не тільки конкретний тип форсунок. Досліджений діапазон



форсунок достатньо широкий, досліджено широкий діапазон для геометричної характеристики, виражений комплексом співвідношення. Тобто, що таке геометрична характеристика – це співвідношення геометричних параметрів, не один параметр, а їх співвідношення усіх разом (слайд 56). Також визначальним значенням є ступінь закриття, або розкриття форсунки, тобто це на скільки діаметр камери закручування менше, або дорівнює, або навіть і більше ступеню діаметру сопла, і на це ми вводимо поправку. Тобто, ми можемо за цією формулою та для дослідженого діапазону ми можемо взяти форсунки в цьому діапазоні та прогнозувати значення. Тобто, це доволі широкий діапазон.

**Питання:** *У назві п'ятого розділу вказано "Визначення закономірностей зміни параметрів та розробка інженерних методик проектування". Зміни параметрів чого саме? Чи не могли б ви конкретизувати?*

**Відповідь:** Мається на увазі, зміна параметрів, що розглянуті. Тобто, це шорсткість поверхні та коефіцієнт витрати.

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

**Питання:** *Чи можна було б представити результати, що демонструються, у традиційному підході, наприклад, у вигляді графіку залежності розрахункових результатів і експериментальних даних від якогось аргументу. Такий підхід був би більш звичним для сприйняття. Чому було обрано саме Ваш оригінальний підхід, і чи можливо було б його замінити на традиційний?*

**Відповідь:** Такий підхід був обраний, бо він наглядно ілюструє ступінь відхилення. Тобто, в разі, явного відхилення/описання функції, ми отримаємо велику кількість точок, що будуть конфліктувати між собою, бо такі значення, вони не лінійні. Це не гладка лінія, що спускається, чи підіймається, це дійсно, це може бути описана лінією тренду. Однак, якщо враховувати різні конструктивні фактори, то це буде набір точок, де дійсно не буде нічого зрозуміло для якісного порівняння і кількісного порівняння. Так ось такий метод був запропонований тільки для зручності.

**Питання:** *Чи можна скласти графік, на якому одна залежність буде показана як експериментальні дані за вашою методикою, а інша – як експериментальні дані, отримані при проектуванні за традиційним підходом? Чи можна прибрати теоретичні розрахункові результати з графіку, і чи може це вплинути на порівняння експериментальних даних?*

**Відповідь:** Так, дійсно можна, але велика кількість точок буде перекривати розуміння поведінки залежності. Тобто, якщо я Вас правильно зрозумів (слайд 55), то це якщо б ми два графіки зібрали в один, і тоді ми б отримали велику кількість точок, і не дуже зрозуміло би було як якісно поводить себе розрахункова залежність. Тобто, за розрахунковою залежністю при запропонованому підході до представлення результатів дійсно можна оцінити якісну поведінку. Але, відповідаючи на Ваше запитання, дійсно ми могли б звести два графіки в одному. Але це б просто не було б зручно (слайд 57).



**Питання:** Скажіть, будь ласка, чому Ви взяли розробляти нову власну методику на відмінність від існуючих? Підкресліть, будь ласка, новизну Вашої методики, виділіть принципову відмінність Вашого підходу?

**Відповідь:** запропонована методика дещо відрізняється від класичної методики базуванням на визначених параметрах. Я не визначаю коефіцієнт витрат, через опосередковані параметри, наприклад, кут розпилу, і таке інше. Я показую, що не завжди має сенс так робити. У запропонованому підході визначаються необхідні параметри, визначаються коефіцієнти витрат, за коефіцієнтом витрат знаходяться всі інші геометричні параметри. Ось на цьому базується методика.

**Питання д-р. техн. наук, професор Мітіков Ю. О.:**

**Питання:** Чи я правильно розумію, що ви рекомендуєте збільшити довжину камери згоряння для поліпшення повноти згоряння? Якщо так, то зростає маса камери, її габарити, що не є добре. Що Ви можете сказати з цього приводу?

**Відповідь:** Дійсно, при збільшенні габаритів камери – масові характеристики знижуються. Однак, такий комплекс властивостей дозволив продемонструвати, що при певному відході від тренду до мінімізації ми можемо отримувати високі показники ступеню повноти горіння.

**Питання:** Вогневі відпрацювання проходили при однаковому тиску відпрацюванні, який це тиск, порядок? Десять атмосфер, п'ятдесят, сто, триста?

**Відповідь:** 20.4 атмосфери та 40.8. Тобто, розглядалися два режими: форсування та номінальний режим».

**Питання:** Всі знають, що адитивний друк скорочує в рази термін виготовлення складних деталей, а який час займає саме написання програми, налагодження програми, Ви їх самі пишете, чи пише власник принтеру?

**Відповідь:** Дійсно 3D -принтер має базові налаштування, кастомні налаштування, тобто такі, які обирають оператори 3D-принтеру. Проєкт розробляємо ми, але режими друку, які гарантують за словами виробника, гарантують фізико-механічні властивості і гарантують певний відсоток дефекту, тобто пористості, напористості матеріалу, це загалом, зазвичай, це рекомендації виробника. Але є можливість відхилення від рекомендацій. Ми не розглядали це питання, ми використовували рекомендовані виробником параметри».

**Питання:** А який час займає написання програми, налагодження її, узгодження та інше?

**Відповідь:** Час лише на підготовка проєкту до старту, а підготовка проєкту включає у себе: перевірку 3D моделі на предмет наявності дефектів, розриву моделі і так далі. Для того, щоб не виникало дефектів при координуванні пучка лазера, та розташуванні підтримуючих структур. Кількість підтримуючих структур регламентують особливості технології. Ця величина є суто індивідуальною. Наприклад, при розгляді змішувальної головки підготовка проєкту займає один день.



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

**Питання:** *щодо назви графіку «Запропонована залежність зміни коефіцієнту витрати  $\mu$ » Від чого саме ця залежність?*

**Відповідь:** Від комплексу геометричних параметрів.

**Питання:** Чому була запропонована залежність зміни коефіцієнту витрати  $\mu$  від відхилення між теоретичними та експериментальними даними для різних деталей? Для чого можна використати цю залежність та наскільки вона є інформативною?

**Відповідь:** це спосіб графічного підтвердження можливості використання. Тобто, навести таблиця з даними – не зрозуміло, назвати порівняння графіків залежностей, отриманих для виробів, для окремих виробів – буде також не зручно, бо існує певне накладання точок. Навіть якщо зробити різними кольорами – буде незрозуміло, а в такому вигляді ми чітко і ясно показуємо, що для розглянутих залежностей різних авторів мало того, що не виконується вимога до розкиду теоретичних та експериментальних даних, так ще і не виконується і тренд.

**Питання ст. викл. Колісніченко О. В.:**

**Питання:** *Чи можливо подальша обробка цих виготовлених 3D друком форсунок з метою покращення показників шорсткості?*

**Відповідь:** Така можливість розглядалася. Дійсно є два підходи щодо покращення якості, зниження шорсткості – це обробка тангенціальних отворів, для чого, для підвищення коефіцієнту витрати перш за все та обробка вихідних отворів сопла форсунок. Це щодо форсунок. Але зазначені методи в дисертаційному дослідженні не розглядалися, як окремі способи, але так це можливо.

**Питання к. т. н., доц., Хорольський М. С.**

**Питання:** *Чи проходили ваші форсунок випробування на якість розпилювання та гідравлічні витрати, як це зазвичай робиться сьогодні? Яка різниця у якості розпилювання? Наприклад, зараз часто використовується екран-приймач з відповідними секторами. Чи були випробування для твоїх форсунок, і який розподіл відхилення між ними? І скільки форсунок було випробувано, якщо такі випробування проводилися?*

**Відповідь:** В дисертаційній роботі не відображене дослідження якості розпилю, бо немає такого обладнання в доступі. Однак, для відцентрових форсунок вимірювався коефіцієнт нерівномірності для певної групи, не для всієї групи, він складав 1.6, це відношення масових розподілів по секторам. В самій роботі представлені значення, вираховані середні квадратичні відхилення і доведено, що майже для всіх зразків форсунок повторювальність параметрів лежить в зоні плюс/мінус 5%. Всього таких форсунок було досліджено 227 штук.



## ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА

Векілов Самір Шамсійович закінчив магістратуру на кафедрі двигунобудування Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара у 2019 р. з відзнакою. Під час навчання в університеті Векілов С.Ш. проявив себе як сумлінний студент, був стипендіатом фонду президента України Кучми Л. Д. З першого курсу магістратури Векілов С.Ш. проявив себе активним студентом, який цікавився питаннями проектування РРД та інтенсивно займався самоосвітою. Навчання поєднував з роботою техника в КБ «Південне». Після закінчення магістратури працював у приватному підприємстві «Firefly Aerospace Ukraine», де почав вирішувати можливості реалізації адитивної технології для елементів РРД.

З 22.09.2020 р. по теперішній час Векілов С.Ш. навчається в аспірантурі Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара за спеціальністю 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка». Він виконав у повному обсязі відповідну освітньо-наукову програму та вчасно підготував до захисту дисертаційну роботу на актуальну тему «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій».

Навчання в аспірантурі Самір поєднував з роботою у приватному підприємстві «FlightControl» у відділі камер ракетних двигунів та газогенераторів.

За час навчання Векілов С.Ш. виявив себе допитливим дослідником та набув необхідних теоретичних знань та практичних навичок, достатніх для розв'язання наукових задач в області аерокосмічної техніки. Отримані ним у процесі роботи над дисертацією результати актуальні, мають наукову новизну, теоретичне і практичне значення.

У процесі проведення дисертаційного дослідження, підготовки дисертації та виконання індивідуального плану наукової роботи Векілов С.Ш. виявив себе як особа пунктуальна, яка відповідально ставиться до своїх обов'язків і має чітку мету в діяльності. Також він продемонстрував вміння вирішувати нові наукові задачі та довів, що володіє сучасними методами наукових досліджень.

**Метою** дисертаційного дослідження створення ефективної методики проектування трактів рідинних ракетних двигунів з підвищеними гідравлічними характеристиками на основі визначених залежностей коефіцієнту витрати від комплексу геометричних параметрів відцентрових форсунок, виготовлених із застосуванням адитивних технологій. Інтегрована система сумішоутворення забезпечує максимальний показник повноти процесу горіння, та виготовлена адитивним методом 3Д друку. Експериментально порівняно реінженерингову систему сумішоутворення з паяно-зварюваним варіантом змішувальної головки на базі «класичних» форсунок. Підтверджено високу ефективність отриманих результатів для змішувальних головок на базі адитивних технологій. Для досягнення поставленої мети визначені геометричні характеристики елементів РРД, виготовлені за адитивною технологією. Експериментально досліджені наступні елементи трактів РРД: струминні форсунки, тангенціальні отвори, пояси зависного охолодження, відцентрово-відцентрові форсунки, середні частини та циліндри камери РРД. Визначалися геометричні характеристики елементів, які дозволяли б реалізувати гідравлічну повторюваність в діапазоні  $\pm 5\%$ . Також у роботі експериментально досліджена жорсткість поверхонь при 3Д друку. Результати експериментального дослідження дозволили побудувати моделі зміни



шорсткості від кута нахилу поверхні та бути використані на етапах попереднього проектування, як довідкові. Також запропоновані моделі для описання залежності коефіцієнту витрати від геометричної характеристики форсунки. Отримана залежність дозволяє більш точно прогнозувати значення коефіцієнту витрати для відцентрових форсунок, виготовлених за адитивною технологією та запропонувати методику розрахунку відцентрових форсунок. Слід зазначити практичну направленість роботи, що підвищує її цінність.

Дисертаційна робота відповідає напряму держбюджетної науково-дослідної роботи Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара: «Створення і удосконалення технологій і матеріалів для ракетних засобів ураження на основі інноваційних конструкторсько-технологічних рішень» (номер держреєстрації 0123U101855, № 6-675-23, 2023–2024), що підтверджує актуальність теми дисертації. Векілов С.Ш. є співавтором розділу проміжного звіту зазначеної НДР.

Основні матеріали дисертаційної роботи відображено у 8 наукових статтях: 1 стаття у журналі, який індексується у наукометричній базі Scopus, та 7 статей у вітчизняних фахових виданнях категорії Б. Це повністю відповідає вимогам до оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Апробацію наукових результатів, отриманих Векіловим С.Ш., було проведено шляхом доповіді їх на низці міжнародних та вітчизняних науково-практичних конференціях: на «8th European Conference For Aeronautics And Space Sciences (EUCASS)» (Madrid, 2019), на XXIII, XXIV та XXV Міжнародних науково-практичних конференціях «Людина і Космос» (Дніпро, 2021, 2022, 2023) та I Всеукраїнській конференції «Виклики та проблеми сучасної науки» (Дніпро, 2023). Також доповідь по дисертаційній роботі в цілому було зроблено на науковому семінарі кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету ім. О. Гончара (Дніпро, 2024).

Усі результати, які отримані здобувачем та наведені в дисертаційній роботі, отримані ним особисто. Ідеї та елементи наукових праць інших науковців супроводжуються посиланнями на авторів та джерела інформації. Особистий внесок Векілова С. Ш. у роботи, опубліковані у співавторстві, наведено у списку опублікованих робіт за темою дисертації.

На підставі вищенаведеного та особистого досвіду спілкування зі здобувачем можна зробити висновок, що за своєю актуальністю, обсягом виконаних досліджень, науковою новизною, достовірністю одержаних результатів, обґрунтованістю висновків, оформленням роботи, оприлюдненню та апробації отриманих результатів дисертація Векілова Саміра Шамсійовича на тему «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій» відповідає кваліфікаційним вимогам щодо дисертацій на здобуття вченого ступеня доктора філософії, викладеним у «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), а її автор, Векілов Самір Шамсійович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.



## ОБГОВОРЕННЯ

**Виступ к. т. н., доц. Бучарського В. Л.:** На мою думку аспірант Векілов С. Ш. виконав висунуті вимоги до дисертації в частині оформлення та, що найважливіше – змістового наповнення. З моменту проведення попереднього засідання усунуто недоліки та неточності, проведена робота над помилками, що були зазначені раніше. Всі вимоги щодо забезпечення відповідними довідками (про виконання освітнього плану, проходження перевірки на плагіат і т. п.) аспірант виконав, виклавши необхідні файли в репозиторій каналу для публічного ознайомлення. На мій погляд, дисертаційне дослідження має завершений стан. Тому пропоную рекомендувати роботу аспіранта Векілова С. Ш. до захисту в тому вигляді, в якому вона була представлена членам міжкафедрального наукового семінару.

**Виступ к. т. н., доц. Лабуткіної Т. В.:** Особисто мені робота сподобалась: виконані всі основні вимоги, підкреслена наукова новизна, у висновках наведені результати виконання всіх поставлених задач. Значного розвитку набуло практичне значення – поєднані особливості технології новітнього адитивного виробництва з конструктивними параметрами рідинних двигунів. Продемонстровано їх взаємний вплив на ефективність роботи дослідних конструкцій камер ракетних двигунів. Загалом, вважаю, що, так би мовити, зусилля аспіранта повинні отримати подальшого розвитку – треба рекомендувати роботу до захисту.

**Виступ д-р. техн. наук, проф. Саніна А. Ф.:** Я згоден з усіма думками. Дійсно, важливо, що аспірант Векілов С. Ш. провів повноцінну роботу над помилками та зауваженнями, що були висунуті членами міжкафедрального наукового семінару попереднього разу. Згоден, що в роботі поєднані і технологічні, і конструктивні аспекти, що забезпечує теоретичне та практичне значення. Результати роботи також узгоджуються з ознаками наявності окремих пунктів наукової новизни, що зрештою і є метою дослідження – розвиток науки. Таким чином, на мій погляд, робота повністю відповідає сучасним вимогам щодо дисертаційних досліджень на здобуття ступеня доктора філософії. Пропоную роботу рекомендувати до подальшого захисту.

**Виступ д-р. техн. наук, проф. Мітікова Ю. О.:** аспірант Векілов С. Ш. здобув вищу освіту на кафедрі двигунобудування, тому, на мій погляд, направленість роботи очевидна. В роботі в достатній кількості виконані всі вимоги, що висуваються до робіт на здобуття ступеня доктора філософії сьогодні. Всі поставлені задачі виконані, підкреслена наукова новизна, теоретичне та практичне значення. Дійсно, важливо, що виправлені помилки, які були помічені минулого разу та усунуто недоліки. З огляду на це, пропоную рекомендувати роботу аспіранта Векілова С. Ш. до подальшого захисту перед членами разової ради.

**Голова міжкафедрального наукового семінару, д-р. техн. наук, проф. Санін А. Ф. :** вважаю, що за результатами обговорення, можемо переходити до висновків міжкафедрального наукового семінару.



## ВИСНОВОК

### **Актуальність теми дисертації.**

З метою здешевлення виробництва а також поліпшення характеристик систем охолодження, сумішеутворення РРД доцільним є широке використання методу адитивних технологій для створення комплексних частин ракетного двигуна, що раніше потребували значної кількості спеціального оснащення та складних технологічних процесів, таких як паяння, зварювання, штампування та ін. Саме тому актуальною є задача визначення головних аспектів такого технологічного методу та характеристик, що отримують в результаті створення таких комплексних частин РРД.

**Затвердження теми та плану дисертації.** Тема дисертації «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із використанням адитивних технологій» затверджена вченою радою Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, науковим керівником призначено кандидата фізико-математичних наук, доц. В. І. Ліповського (протокол № 4 від 19.11.2020 р.). Тема уточнена вченою радою фізико-технічного факультету 06.02.2024 р., протокол № 7.

**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 напрямкам досліджень фізико-технічного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Напрямок тісно пов'язаний з виконанням держбюджетної теми «Створення і удосконалення технологій і матеріалів для ракетних засобів ураження на основі інноваційних конструкторсько-технологічних рішень», № 6-675-23, № держреєстрації 0123U101855. Отримані результати відповідають вимогам Закону України «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні». Практичне значення підтверджено Актами реалізації, засвідченими відповідальними особами ТОВ «ФЛАЙТ КОНТРОЛЬ» та ТОВ «Дніпро Аероспейс».

### **Особистий внесок здобувача полягає:**

1. У проведенні критичного аналізу основних існуючих конструкцій гідравлічних трактів РРД та основних шляхів підвищення їх характеристик;
2. В розробці дослідних конструкцій зразків гідравлічних трактів РРД, для виготовлення з використанням L-PBF технології;
3. У безпосередній участі в проведенні всіх експериментальних досліджень, представлених у даній роботі.
4. В обробці і подальшому аналізі отриманих експериментальних даних для визначення закономірностей залежності гідравлічних характеристик елементів гідравлічних трактів РРД від їх геометричних параметрів.
5. В розробці методики розрахунку відцентрових форсунок, виготовлених з допомогою 3Д друку, за скоригованою формулою залежності зміни коефіцієнту



витрати в залежності від їх геометричних параметрів.

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

**Наукова новизна одержаних результатів:**

– Для процесу L-PBF адитивного виробництва вперше встановлена залежність величини шорсткості від кута нахилу побудованої поверхні до базової в діапазоні від  $0^\circ$  до  $180^\circ$  при 3Д друку, що дозволяє прогнозувати параметри шорсткості поверхонь на ранніх етапах проектування (наприклад, на етапі технічної пропозиції, або ескізного проекту).

– Доведено, що для виробів, виготовлених із застосуванням процесу L-PBF, максимальні значення шорсткості вгору (відносно напрямку процесу виготовлення – перпендикулярно до базової поверхні 3Д принтеру) орієнтованої поверхні виробу досягаються при значеннях кута  $45^\circ$  та  $135^\circ$ , мінімальна величина шорсткості досягається при значеннях кутів нахилу поверхні  $0^\circ$ ,  $90^\circ$  та  $180^\circ$ . Для вниз орієнтованих поверхонь максимальні значення шорсткості поверхонь досягаються при кутах нахилу  $0^\circ$  та  $180^\circ$ , а мінімальне значення при куті нахилу  $90^\circ$ .

– Вперше для відцентрових форсунок РРД, виготовлених з використанням методу адитивних технологій, визначено залежність гідравлічних характеристик від зміни їх геометричних параметрів.

**Практичне значення результатів дослідження:**

Розроблено рекомендації щодо мінімального лінійного розміру відтворюваності гідравлічних характеристик елементарних випадків гідравлічного тракту – струминної форсунки, виготовленої адитивним методом.

Запропоновано і обґрунтовано практичні рекомендації щодо залежності гідравлічних параметрів струминної форсунки від діаметру та відносної довжини сопла.

Отримано рекомендації щодо проектування гідравлічних трактів із складною конфігурацією з можливістю реалізації поверхонь при 3Д друку, що не потребують застосування підтримуючих структур.

Отримана залежність зміни коефіцієнту витрати для відцентрових форсунок, рекомендується до використання при проектуванні для визначення характеристик змішувальних систем головок камери РРД.

Отримано рівняння нелінійної регресії для визначення залежності значення шорсткості від кута нахилу поверхонь друку, що рекомендується до використання для визначення гідравлічного опору потоку рідини, викликаючи втрати тиску та змін витрати рідини.

Розроблено методику проектування відцентрових форсунок, виготовлених методами адитивних технологій за уточненою розрахунковою залежністю.

Створено ефективну систему сумішоутворення камери РРД з показником повноти процесу горіння, який перевищує максимальні показники для роботи камер



зі змішувальними головками, виготовленими на базі форсунок «класичного» виробництва.

Основні практичні результати апробовані і реалізовані в умовах реальних підприємств, що підтверджено Актами реалізації на ТОВ «ФЛАЙТ КОНТРОЛ» та ТОВ «Дніпро Аероспейс».

**Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях та особистий внесок у них автора.** Результати досліджень відображено у 12 наукових публікаціях: 7 статей (у вітчизняних фахових виданнях категорії Б), 5 матеріалів міжнародних та вітчизняних конференцій.

Публікації Векілова С. Ш. 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. Vekilov S., Lipovskyi V., Marchan R. Features of the adaptation of 3d printed regenerative cooling channels of the LPRE throat inserts. System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics. 2021. Т. 29, № 2. С. 62–72. URL: <https://doi.org/10.15421/472112>. **(фахове видання, категорія Б)**

2. Distinctive features of SLM technology application for manufacturing of LPRE components / S. Vekilov, V. Lipovskyi, R. Marchan, O. Bondarenko. Journal of Rocket-Space Technology. 2021. Т. 29, № 4. С. 112–123. URL: <https://doi.org/10.15421/452112>. **(фахове видання, категорія Б)**

3. Topology optimization features of liquid-propellant rocket engine power elements manufactured by additive technologies / O. Bondarenk, S. Vekilov, Y. Tkachov, R. Marchan. Journal of Rocket-Space Technology. 2021. Т. 29, № 4. С. 112–123. URL: <https://doi.org/10.15421/452111>. **(фахове видання, категорія Б)**

4. Vekilov S., Lipovskyi V. Comparison and analysis between conventional and additive manufacturing technologies of LPRE. System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics. 2022. Т. 31, № 2. С. 14–25. URL: <https://doi.org/10.15421/472210>. **(фахове видання, категорія Б)**

5. Vekilov S., Lipovskyi V. Overview on the design variants for organization of the liquid film cooling in LPRE combustion chambers. Journal of Rocket-Space Technology. 2023. Т. 31, № 4. С. 9–19. URL: <https://doi.org/10.15421/452302>. **(фахове видання, категорія Б)**

6. Teoretical-experimental comparison of the models of additively manufactured swirl injectors based on the hydraulic testing results / S. Vekilov, V. Lipovskyi, R. Marchan, A. Lohvynenko, R. Pustovoy. Journal of Rocket-Space



Technology. 2023. Т. 31, № 4. С. 148–158. URL: <https://doi.org/10.15421/452319>.  
(фахове видання, категорія Б)

7. Vekilov S., Lipovskyi V. Features of the development of additive manufacturing methods in application to liquid propellant rocket engines. Journal of Rocket-Space Technology. 2023. Т. 32, № 4. С. 23–38. URL: <https://doi.org/10.15421/452326> (фахове видання, категорія Б)

### Список публікацій, які засвідчують апробації матеріалів дисертації

1 3D printed acoustic igniter of oxygen-kerosene mixtures for aerospace applications / R. Marchan, A. Oleshchenko, S. Vekilov та ін. 8TH European Conference For Aeronautics And Space Sciences (EUCASS) : International Conference, м. Madrid, 1–4 черв. 2019 р. URL: <https://doi.org/10.13009/EUCASS2019-238>.

2 Векілов С. Ш., Ліповський В. І. Distinctive features of SLM technology application for manufacturing of LPRE components. XXIII Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос» : матеріали Міжнар. молодіж. науково-практ. конф., м. Дніпро, 14–16 квіт. 2021 р. С. 110. URL: [https://spacehuman.org/\\_files/doc/sbornik2021.pdf](https://spacehuman.org/_files/doc/sbornik2021.pdf) (дата звернення: 30.09.2021).

3 Векілов С. Ш., Ліповський В. І. An overview on the design variants which realize inner film cooling of the LPRE combustion chambers. XXIV Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос» : матеріали Міжнар. молодіж. науково-практ. конф., м. Дніпро. 2022. С. 124. URL: [https://spacehuman.org/\\_files/doc/sbornik2022.pdf](https://spacehuman.org/_files/doc/sbornik2022.pdf) (дата звернення: 31.08.2022).

4 Експериментальна оцінка методик розрахунку відцентрових розпилюючих пристроїв, виготовлених за допомогою методів адитивних технологій / С. Ш. Векілов та ін. XXV Міжнародна молодіжна науково-практична конференція «Людина і космос» : матеріали Міжнар. молодіж. науково-практ. конф., м. Дніпро, 12–14 квіт. 2023 р. 2023. С. 41–43. URL: <https://spacehuman.org/uploads/source/doc/sbornik2023.pdf> (дата звернення: 16.10.2023).

5 Experimental investigation of the parameters of additively manufactured coaxial swirl injectors / С. Ш. Векілов та ін. Виклики та проблеми сучасної науки : матеріали Міжнар. науково-практ. конф., м. Дніпро. 2023. С. 108–117. URL: <https://files.fti.dp.ua/cims/cims-vol-1> (дата звернення: 22.12.2023).



**На підставі заслуховування та обговорення доповіді С. Ш. Векілова 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 Векілова Саміра Шамсійовича на тему «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій», 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 Векілова Саміра Шамсійовича на тему «Підвищення гідравлічних характеристик трактів рідинних ракетних двигунів, виготовлених із застосуванням адитивних технологій» 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 Векілова Саміра Шамсійовича 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	Давидов Сергій Олександрович (голова)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій	Доктор технічних наук, 05.07.02 - проектування, виробництво та випробування літальних апаратів, 2009 р.	професор кафедри проектування і конструкцій літальних апаратів, 2011 р.	<p>1. Pozdnuyshev M.O., Davydov S.O. Experimental research on hydraulic resistance of deformed woven meshes // Науковий вісник національного гірничого університету – Дніпро, 2020. – № 5 – С. 75 – 81. ISSN (print) 2071-2227, ISSN (online) 2223-2362. <a href="https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-5/075">https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-5/075</a>. (стаття Scopus).</p> <p>2. Давидов С.О., Журавель П.І., Кривенко А.А., Левченко В.Ю. Вплив температури на працездатність паливної системи космічних літальних апаратів // «Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки» - Збірник наукових праць. – Дніпро, 2022. – Т. 30. – С. 3-13. – ISSN (print) 2524-0188, ISSN (online) 2524-0196. <a href="https://doi.org/10.15421/472201">https://doi.org/10.15421/472201</a>. (стаття фахова, категорія Б).</p> <p>3. Давидов С.О., Давидова А.В., Склярський Ш.А., Чуприна А. А. Математичне моделювання взаємодії сітчастих розділювачів фаз с газовими пузирями в умовах змінного поля масових сил // «Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки» - Збірник наукових праць. – Дніпро, 2021. – Т. 29. – С. 23-38. – ISSN (print) 2524-0188, ISSN (online) 2524-0196. <a href="https://doi.org/10.15421/472109">https://doi.org/10.15421/472109</a>. (стаття фахова, категорія Б).</p>



№	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
2	Єпіфанов Сергій Валерійович (опонент)	Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», МОН України, зав. кафедри конструкції авіаційних двигунів	Докт. техн. наук, 05.07.05 – двигуни та енергоустановки і літальних апаратів (трансформова на у спеціальність 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки), 2001 р.	Професор за кафедрою конструкції авіаційних двигунів, 2003 р.	<p>1. Applicability of Simplified Data-Driven Models in Gas Turbine Diagnostics / I. Loboda, J.L. Pérez-Ruiz, I. González Castillo, S. <b>Yepifanov</b>. <i>ASME Turbo Expo 2023: Turbomachinery Technical Conference and Exposition</i>, Boston, Massachusetts, USA, 26–30 June 2023. 2023. URL: <a href="https://doi.org/10.1115/gt2023-104176">https://doi.org/10.1115/gt2023-104176</a> (date of access: 14.03.2024). (Scopus)</p> <p>2. Estimation of Performance Parameters of Turbine Engine Components Using Experimental Data in Parametric Uncertainty Conditions / O. Khustochka, S. <b>Yepifanov</b> та ін. <i>Aerospace</i>. 2020. Vol. 7, no. 1. P. 6. URL: <a href="https://doi.org/10.3390/aerospace7010006">https://doi.org/10.3390/aerospace7010006</a> (date of access: 14.03.2024). (Scopus)</p> <p>3. Study on Accuracy of Heat Transfer Coefficient Determination in the Bearing Chamber for Gas Turbine Engine / I. Petukhov, T. Mykhailenko, S. <b>Yepifanov</b>, O. Shevchuk <i>ASME Turbo Expo 2020: Turbomachinery Technical Conference and Exposition</i>, м. Virtual, Online, 21–25 верес. 2020 р. 2020. URL: <a href="https://doi.org/10.1115/gt2020-14304">https://doi.org/10.1115/gt2020-14304</a> (дата звернення: 14.03.2024). (Scopus)</p>



№	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	Ніколаєв Олексій Дмитрович (опонент)	Інститут технічної механіки НАН і ДКА України, відділ динаміки гідродинамічних і віброзахисних систем, старший науковий співробітник	Кандидат технічних наук, 05.07.05 – теплові двигуни літальних апаратів, 31.01.1992 р.	Старший науковий співробітник (за спеціальністю теплові двигуни літальних апаратів), 1999 р.	<p>1. Пилипенко О. В., Долгополов С. І., <b>Ніколаєв О. Д.</b> Сучасний стан теоретичних досліджень високочастотної стійкості робочих процесів в камері згоряння рідинних ракетних двигунів. <i>Technical mechanics</i>. 2020. Т. 2. С. 5–21. URL: <a href="https://doi.org/10.15407/itm2020.02.005">https://doi.org/10.15407/itm2020.02.005</a> (дата звернення: 11.03.2024). <b>(фахова стаття, категорія Б)</b></p> <p>2. Determination of the thrust spread in the cyclone-4m first stage multi-engine propulsion system during its start / О. Пилипенко, С. Долгополов, <b>О. Ніколаєв</b> та ін. <i>Science and innovation</i>. 2022. Т. 18, № 6. С. 97–112. URL: <a href="https://doi.org/10.15407/scine18.06.097">https://doi.org/10.15407/scine18.06.097</a> (дата звернення: 11.03.2024). <b>(стаття Scopus)</b></p> <p>3. Effect of the surface roughness of a power plant chamber on low-frequency self-oscillations of a cold working gas / <b>О. Ніколаєв</b>, І. Башлій, Н. Хоряк, С. Бондаренко. <i>Technical mechanics</i>. 2023. Vol. 3. P. 3–17. URL: <a href="https://doi.org/10.15407/itm2023.03.003">https://doi.org/10.15407/itm2023.03.003</a> (дата звернення: 11.03.2024). <b>(фахова стаття, категорія Б)</b></p>



№	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
4	Карпович Олена Володимирівна (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій, Міністерство освіти і науки України	Кандидат технічних наук зі спеціальності 05.07.04 - технології виробництва літальних апаратів, 17.01.2008 р.	Доцент кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій, 2011 р.	<p>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. <a href="http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/11/RST%202022">http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/11/RST%202022</a> DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/452202">https://doi.org/10.15421/452202</a> (стаття фахова, категорія Б).</p> <p>2. Карпович, Е. В. ., Карпович, И. И. ., &amp; 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. <a href="https://doi.org/10.15421/471915">https://doi.org/10.15421/471915</a> (стаття фахова, категорія Б).</p> <p>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. <a href="https://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/12">https://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/12</a> DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/4523310101">https://doi.org/10.15421/4523310101</a> (стаття фахова, категорія Б).</p> <p>4. Карпович О.В. Процеси формування дифузійних зварних з'єднань по охоплюваних поверхнях перехідників. // Вісник Дніпровського університету. Серія: Ракетно-космічна техніка. Том. 30. №4. – 2022. – С. 45–50. <a href="http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/11/RST%202022">http://rocketspace.dp.ua/index.php/rst/issue/view/11/RST%202022</a> DOI: <a href="https://doi.org/10.15421/452207">https://doi.org/10.15421/452207</a> (стаття фахова, категорія Б).</p>



№	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
5	Золотько Олександр Євгенович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, доцент кафедри двигунобудування	Кандидат технічних наук, 05.05.03 – двигуни та енергетичні установки, 18.10.1996 р.	Доцент кафедри двигунобудування, 2005 р.	<p>1. Золотько О. Є., Золотько О. В., Сосновська О. В., Аксьонов О. С., Савченко І. С. Особливості конструктивних схем двигунів з імпульсними детонаційними камерами // Aerospace technic and technology. – 2020. – № 2. – С. 4–10. <a href="https://doi.org/10.32620/akt.2020.2.01">https://doi.org/10.32620/akt.2020.2.01</a> (стаття фахова, категорія Б).</p> <p>2.1. Ежекторний детонаційний двигун на екологічно чистих компонентах палива / О. В. Сосновська та ін. Aerospace technic and technology. 2021. № 4. С. 20–27. URL: <a href="https://doi.org/10.32620/akt.2021.4.03">https://doi.org/10.32620/akt.2021.4.03</a> (дата звернення: 14.03.2024). (стаття фахова, категорія Б).</p> <p>3. Aksonov O., Zolotko O., Marchenko O. On the determination of the specific heat flux value in a pulse detonation engine's chamber // Journal of Rocket-Space Technology. – 2023. – Vol. 31, № 4. – P. 20–25. <a href="https://doi.org/10.15421/452303">https://doi.org/10.15421/452303</a> (стаття фахова, категорія Б).</p>

Усі кандидатури членів ради відповідають вимогам п.п. 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» – 23 особи.

«Проти» – немає.

«Утрималися» – немає.

**Рішення прийнято одногосно.**

Голова міжкафедарльного семінару



Анатолій САНІН

Секретар



Тетяна ЛАБУТКІНА