

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи
Національного технічного
університету України
“Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського”
к.т.н., доц.
Тетяна ЖЕЛЯСКОВА



“ 26 ” 03 20 25 р.

ВИТЯГ

з протоколу № 11 від 05 березня 2025 р. розширеного засідання кафедри
космічної інженерії

Національного технічного університету України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

БУЛИ ПРИСУТНІ:

– з кафедри космічної інженерії: д.т.н., професор Коробко І.В.; к.т.н., доцент Мариношенко О.П.; д.т.н., професор Архипов О.Г.; д.т.н., професор Рижков Л.М.; к.т.н., доцент Зінченко Д.М.; к.т.н., доцент Ларьков С.М.; к.т.н., доцент Гришанова І.А.; к.т.н., доцент Ткаченко С.С.; к.т.н., с.н.в. Лобунько О.П.; к.т.н., доцент Писарець А.В.; асистент Павлова В.В; асистент Коваленко О.В.;

– з кафедри авіа- та ракетобудування: к.ф-м.н, с.н.с., Лук'янов П.В.; д.т.н., професор Кабанячий В.В.; д.т.н., професор Сухов В.В.; к.т.н. Бондаренко О.М.; старший викладач кафедри Борисов В.В.;

– з кафедри систем керування літальними апаратами: к.т.н., доцент Пономаренко С.О., д.т.н., професор Збруцький О.В.;

– запрошені з інших організацій: Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», д.т.н., професор, Епіфанов С.В.; Дніпровський національний університет ім. Олеся Гончара, к.т.н., доцент, Ткачов Ю.В.; ТОВ «Прогрестех», Гаваза О.Ю.; ДП «АНТОНОВ», аспірант кафедри АРБ Гевко Б.А

СЛУХАЛИ:

1. Повідомлення аспіранта кафедри космічної інженерії Бакуна Володимира Андрійовича за матеріалами дисертаційної роботи

«Випробувальний вогняний стенд висотних рідинних ракетних двигунів малої тяги» поданої на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 Механічна інженерія за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка. Освітньо-наукова програма «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».

Тему дисертаційної роботи «Випробувальний вогняний стенд висотних рідинних ракетних двигунів малої тяги» затверджено наказом 270а від 15 вересня 2021 р. та уточнено на засіданні Вченої ради (протокол №7 від 16 січня 2025 року).

Науковим керівником затверджений к.т.н., доцент Мариношенко О.П.

2. Запитання до здобувача.

Запитання по темі дисертації ставили: д.т.н., професор, Коробко І.В.; к.т.н., доцент, Ларьков С.М.; д.т.н., професор, Епіфанов С.В.; д.т.н., професор Кабанячий В.В.; д.т.н., професор, Архипов О.Г.; аспіранти кафедри.

3. Виступи за обговореною роботою.

В обговоренні дисертації взяли участь: д.т.н., професор, Коробко І.В.; д.т.н., професор Архипов О.Г.; д.т.н., професор, Рижков Л.М.; д.т.н., професор, Епіфанов С.В.

УХВАЛИЛИ:

ПРИЙНЯТИ такий висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертаційного дослідження:

1. Актуальність теми дослідження

Ракетно-космічна галузь, особливо стосовно проектування і створення рідинних ракетних двигунів космічного призначення, характеризується значними досягненнями, що базуються на багатому досвіді історії розробок та практичного застосування. Важливу роль у цьому процесі відіграють випробувальні стенди, які забезпечують перевірку, оптимізацію та валідацію конструкцій двигунів. Історично багато технічних рішень, які розроблялися під час випробувань РРД, залишаються актуальними й сьогодні, оскільки вони стали основою теорії й практики для створення сучасних космічних апаратів і не тільки. Як наслідок, галузь отримує двигуни та навіть космічні ракетні ступені повторного використання.

Проте складність конструкцій рідинних ракетних двигунів і високі вимоги до їхніх характеристик зумовлюють необхідність створення спеціалізованого обладнання для випробувань, яке нерідко є вартісним і технічно складним. Випробувальні стенди, які є невід'ємною частиною виробничого циклу, часто виявлялися найбільш витратним елементом через складність забезпечення умов, що імітують вакуум, значні навантаження та екстремальні температури, які виникають під час роботи двигунів. Це створює бар'єри для широкого впровадження сучасних технологій у галузь ракетобудування, особливо для підприємств, що працюють у комерційному сегменті космічної індустрії.

Протягом десятиліть висока вартість випробувального обладнання обмежувала можливості масового виробництва й глобальної комерціалізації ракетної техніки. Випробувальні стенди, які є невід'ємною частиною виробничого циклу, часто виявлялися найбільш витратним елементом через складність забезпечення умов, що імітують вакуум, значні навантаження та екстремальні температури, які виникають під час роботи двигунів. Це не лише ускладнювало технологічний ланцюг, але й знижувало доступність галузі для компаній «стартапів», що прагнуть увійти до космічного сектору. Саме пошук простіших рішень у процесі випробувань рідинних двигунів, дозволить та уже дозволяє розширювати галузь і в свою чергу космічний ринок всебічних послуг.

Сучасні виклики ракетного двигунобудування зумовлюють необхідність пошуку інноваційних рішень, спрямованих на зниження витрат і спрощення процесів випробувань. Одним із таких напрямів є розробка більш компактних, економічно ефективних і технологічно вдосконалених випробувальних стендів. Саме впровадження таких рішень сприяє не лише підвищенню ефективності процесів випробувань, але й створює передумови для комерційної привабливості ракетно-космічної галузі.

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

Дисертаційна робота 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 напрямам дослідження Навчально-наукового інституту аерокосмічних технологій Національного технічного університету України «Київського політехнічного інституту імені Ігоря Сікорського». Отримані результати відповідають вимогам Закону України «Про пріоритетні напрямки інноваційної діяльності в Україні». Наукова новизна та практичне значення підтверджені актом реалізації, засвідченими відповідальними особами ТОВ «ФЛАЙТ КОНТРОЛ».

3. Наукова новизна отриманих результатів

У дисертації вперше одержані такі нові наукові результати:

- удосконалено методологічний підхід до проектування випробувального вогняного стенду рідинних ракетних двигунів малої тяги, шляхом поєднання методів твердотільного моделювання, для отримання вхідних даних процесу, та проведення термо-газодинамічних розрахунків з використанням чисельних рішень Нав'є-Стокса, з граничними умовами, що відповідають обмеженням роботи висотних двигуна та газо-ежекторної установки;

- вперше розроблено випробувальний вогняний стенд для висотних рідинних ракетних двигунів тягою від 180 Н до 200 Н, в основі якого закладена спільна робота газо-ежекторної установки та двигуна, що забезпечує розрідження робочого середовища на зрізі сопла двигуна на рівні до 3.5 мм. рт. ст.;

- удосконалено традиційний підхід до реалізації елементів випробувальних вогняних стендів висотних рідинних ракетних двигунів, за рахунок впровадження адитивних технологій виробництва, що дозволяє формувати елементи газоповітряного тракту та паливних систем стенду, які є недосяжними для традиційних методів виготовлення, з одночасним зменшенням часу виробництва, вартості та ваги.

4. Теоретичне та практичне значення результатів роботи, впровадження:

розроблено практичні рекомендації щодо інженерного створення установки, що створює середовище, яке імітує вакуум, включаючи в себе елементи, що виготовлені адитивними методами; розроблено математичну модель спільної роботи висотного рідинного ракетного двигуна та газо-ежекторної установки; розроблено структуру й склад випробувального стенду для проведення вогневих випробувань рідинних ракетних двигунів малої тяги; розроблено та експериментально випробувано конструкцію газо-ежекторної установки випробувального стенду; розроблені й практично реалізовані вимірювальні системи контролю технічних параметрів під час проведення вогневих випробувань; розроблено рекомендаційну методику вібраційного захисту рідинного ракетного двигуна та газо-ежекторної установки.

Практичні результати роботи реалізовані у виробничих умовах ТОВ «ФЛАЙТ КОНТРОЛ», що підтверджується відповідним актом впровадження.

5. Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати дисертаційної роботи, а також окремі її розділи доповідалися та отримали позитивні відгуки на науково-технічних конференціях, зокрема на XIV, XV та XVI міжнародних науково-практичних конференціях «INTELLIGENCE. INTEGRATION. RELIABILITY» (2021, 2023 та 2024 р., м. Київ, відповідно).

6. Дотримання принципів академічної доброчесності

За результатами науково-технічної експертизи дисертація Бакуна В.А. визнана оригінальною роботою, яка не містить елементів фальсифікації, компіляції, фабрикації, плагіату та запозичень.

7. Перелік публікацій за темою дисертації із зазначенням особистого внеску здобувача

За результатами досліджень опубліковано 7 наукових публікацій, у тому числі:

- 1 стаття у науковому фаховому виданні України категорії «А» за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка;
- 3 статті у наукових фахових виданнях України категорії «Б» за спеціальністю 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка;
- 3 тез виступів на наукових конференціях.

1. Arkhypov, O., Marynoshenko, O., Stefurak, T., & Bakun, V. (2023). Sylovi ta zhorstkisni kharakterystyky vibrozakhysnykh system iz kvazinulovoiu zhorstkistiu [Strength and stiffness characteristics of vibration protection systems with quasi-zero stiffness]. Neliniini Kolyvannya, 26(4), 443–452.

<https://doi.org/10.3842/nosc.v26i4.1442> [In Ukrainian]. (фахове видання, категорія А, Scopus Q3);

Особистий внесок здобувача: здобувачем проаналізовано основні принципи вібраційного навантаження на конструктивні елементи. Запропонований конструктивний підхід до використання захисних систем від вібраційних навантажень.

2. Bakun, V. A., & Marynoshenko, O. P. (2024a). The usage of gas-dynamic pipes in fire test benches of low-thrust liquid rocket engines. *System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics*, 34(1), 13–22. <https://doi.org/10.15421/472402> (фахове видання, категорія Б);

Особистий внесок здобувача: здобувачем досліджено та математично змодельовано основні термо-газодинамічні процеси, які відбуваються в газодинамічних трубах випробувальних стендів рідинних ракетних двигунів. Результати моделювання експериментально підтверджені випробуваннями рідинного ракетного двигуна.

3. Bakun, V. A., & Marynoshenko, O. P. (2024b). Stand for fire tests of low-thrust liquid rocket engines with simulation of vacuum conditions. *System Design and Analysis of Aerospace Technique Characteristics*, 35(2), 3–12. <https://doi.org/10.15421/472409> (фахове видання, категорія Б);

Особистий внесок здобувача: здобувачем проаналізовані основні підходи до реалізації випробувань рідинних ракетних двигунів. Запропонована реалізація випробувального стенду з основними конструктивними елементами, що підтверджена експериментальними даними.

4. Bakun, V., & Marynoshenko, O. (2024). The usage of additive technologies in fire test stands. *Journal of Rocket-Space Technology*, 33(4-29), 40-46. <https://doi.org/10.15421/452449> (фахове видання, категорія Б);

Особистий внесок здобувача: здобувачем проаналізовані основні підходи до використання адитивних технологій у вогняних випробувальних стендах. Наведений аналіз недоліків та переваг. Наведені та проаналізовані приклади впровадження 3Д-друку в конструктивні елементи випробувальних стендів.

5. Bakun, V., & Marynoshenko, O. (2024c). Use of Gas-Ejector Installations In Rocket Engine Test Stands. In XVI international conference of students and young scientists «Intelligence. Integration. Reliability» (pp. 6–7). National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". <https://iat.kpi.ua/wp-content/uploads/2024/12/Book-of-theses-IRR-2024.pdf>;

Особистий внесок здобувача: здобувачем проаналізований підхід до реалізації вакуумування на випробувальних вогняних стендах для рідинних ракетних двигунів. Запропонована газо-ежекторна установка для розрідження робочого середовища стендів.

6. Bakun, V., & Marynoshenko, O. (2023). Measurement of The Thrust of Rocket Engines. In XV international conference of students and young scientists «Intelligence. Integration. Reliability» (pp. 17–18). National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". <https://iat.kpi.ua/wp-content/uploads/2023/12/IRR-2023.pdf>;

Особистий внесок здобувача: здобувачем запропонована система для заміру тяги на вогняних випробувальних стендах рідинних ракетних двигунів в умовах, що імітують вакуум.

7. Bakun, V., & Marynoshenko, O. (2021). Introduction Of Additive Technologies In Stand Fire Of Rocket Engines tests. In XIV international conference of students and young scientists «Intelligence. Integration. Reliability» (pp. 7 8). National Technical University Of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute». https://iat.kpi.ua/wp-content/uploads/2021/12/Thesis_IRR_2021.pdf.

Особистий внесок здобувача: здобувачем проаналізовані основні підходи до використання адитивних технологій у вогняних випробувальних стендах. Наведений аналіз недоліків та переваг. Наведені та проаналізовані приклади впровадження 3Д-друку в конструктивні елементи випробувальних стендів.

Якість та кількість публікацій відповідають “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.

ВВАЖАТИ, що дисертаційна робота Бакуна В.А. «Випробувальний вогняний стенд висотних рідинних ракетних двигунів малої тяги», що подана на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 13 - Механічна інженерія за спеціальністю 134 - Авіаційна та ракетно-космічна техніка за своїм науковим рівнем, новизною отриманих результатів, теоретичною та практичною цінністю, змістом та оформленням повністю відповідає вимогам, що пред'являють до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії та відповідає напрямку наукового дослідження освітньо-наукової програми КПІ ім. Ігоря Сікорського «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» зі спеціальності 134 Авіаційна та ракетно-космічна техніка.

РЕКОМЕНДУВАТИ:

1. Дисертаційну роботу «Випробувальний вогняний стенд висотних рідинних ракетних двигунів малої тяги», подану Бакуном Володимиром Андрійовичем на здобуття наукового ступеня доктора філософії, до захисту у спеціалізованій разовій вченій раді.

2. Вченій раді КПІ ім. Ігоря Сікорського утворити разову спеціалізовану вчену раду у складі:

Голова:

- доктор технічних наук, професор кафедри авіа- та ракетобудування НН Інституту аерокосмічних технологій Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Кабанячий Володимир Володимирович

Члени:

Рецензенти:

- доктор технічних наук, професор кафедри конструювання машин НН Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Саленко Олександр Федорович

- кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки, НН Механіко-машинобудівного інституту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»

Тітов Андрій Вячеславович

Офіційні опоненти:

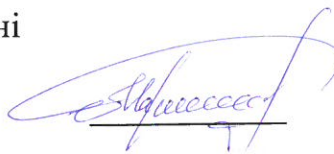
- доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри конструкції авіаційних двигунів Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

Епіфанов Сергій Валерійович

- кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри космічних інформаційних технологій Дніпровського національного університету ім. Олеся Гончара

Ткачов Юрій Валентинович

Головуючий на засіданні
завідувач кафедри КІ,
к.т.н., доцент,



Олександр МАРИНОШЕНКО

Вчений секретар
кафедри КІ
ст. викладач, к.т.н.



Сергій ЛАРЬКОВ