

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи
Національного аерокосмічного
університету

ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»

Д.Т.Н. С.Н.С.

Павліков В.В.

«18» червня 2020

Витяг

з протоколу № 11 засідання фахового семінару за спеціальністю
«Енергетичне машинобудування» кафедри космічної техніки та
нетрадиційних джерел енергії (№402) Національного аерокосмічного
університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут» від « 18 » червня 2020 р.

Присутні: Голова засідання - к.т.н., завідувачка кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Сінченко С.В., д.т.н., професор, професор кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Безручко К.В., к.т.н., професор, декан факультету ракетно-космічної техніки Губін С.В., к.т.н., професор кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Долгов А.І., к.т.н., доцент, доцент кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Шепетов Ю.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Базима Л.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Нестеренко С.Ю., к.т.н., доцент кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Слюсар Д.В., к.т.н., старший викладач кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Лоян А.В., старший викладач кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Наказненко М.М., старший викладач кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Білокінь В.І., старший викладач кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії В'язовик К.Л., зав. науковими лабораторіями Лазненко В.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри конструкції авіаційних двигунів Єпіфанов С.В., д.т.н., доцент, зав. кафедрою аерокосмічної, теплотехніки Гакал П.Г.

Серед присутніх 3 доктори технічних наук та 8 кандидатів технічних наук в галузі енергетичного машинобудування.

Порядок денний: апробація дисертаційної роботи аспіранта кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Погудіна Андрія

Володимировича на тему «Формування динамічних характеристик електронагрівної рушійної установки для космічного буксира» на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Науковий керівник:

Губін Сергій Вікторович - к.т.н., професор, професор кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії.

Рецензенти:

Гакал Павло Григорович - д.т.н., доцент, завідувач кафедри аерокосмічної теплотехніки.

Лоян Андрій Віталійович - к.т.н. ст. викладач кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії.

Слухали:

1. Головуючу на засіданні, к.т.н. кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Сінченко С.В. про порядок денний семінару та дані про здобувача.

2. Доповідь Погудіна Андрія Володимировича про дисертаційну роботу на тему «Формування динамічних характеристик електронагрівної рушійної установки для космічного буксира» на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування. Тему дисертації затверджено Вченою радою Національного аерокосмічного університету ім. М.Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», протокол № 4 від 26.10.2016 р. та перезатверджено протоколом №5 від 18.12.2019 р.

Погудін Андрій Володимирович протягом 20 хвилин доповідав основні положення та результати дисертаційної роботи, які було проілюстровано на 35 плакатах.

3. Відповіді здобувача на питання присутніх з метою роз'яснення окремих положень та висновків дисертаційної роботи.

Було задано 10 запитань. Питання задали: д.т.н. професор Єпіфанов С.В., д.т.н., професор Безручко К.В., к.т.н., доцент Базима Л.О., к.т.н. Лоян А.В., д.т.н. доцент Гакал П.Г.

4. Наукового керівника професора кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії к.т.н., Губіна С.В., який надав відомості щодо основних моментів з трудової та наукової діяльності та навчання Погудіна А.В. в аспірантурі. В своєму виступі він зазначив, що

Погудін А.В. сумлінно відноситься до своїх службових обов'язків та роботи над дисертацією.

5. Виступи рецензентів.

Рецензент, д.т.н., доцент Гакал П.Г. відмітив, що підготував висновок на 6 сторінках і зачитав його. Додав коментар, що дисертаційна робота Погудіна А.В. є завершеною науковою роботою, яка містить нові і цікаві результати, а також усі результати, які виносяться на захист є достовірними та отриманими автором особисто. Рецензент відмітив кілька недоліків роботи, які не знижують загальне позитивне враження від дисертації і не впливають на висновок. Давши в цілому позитивну оцінку, Гакал П.Г. рекомендував до захисту дисертацію «Формування динамічних характеристик електронагрівної рушійної установки для космічного буксира» у разовій спеціалізованій раді на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування (напрямок 14 Електрична інженерія).

Рецензент, к.т.н. ст. викладач Лоян А.В. у виступі сказав, що підготував висновок на 3 сторінках і зачитав його. Позитивно оцінив дисертаційну роботу, відзначив, що вона містить нові науково обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати в галузі електричної інженерії, які у сукупності забезпечують розв'язання актуальної задачі, яка полягає в скорочення тривалості підготовки до запуску електронагрівної рушійної установки при використанні на космічному буксирі. Лоян А.В. рекомендував до захисту дисертаційну роботу Погудіна А.В. у разовій спеціалізованій раді на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Під час обговорення дисертаційної роботи Погудіна А.В. виступили: д.т.н., професор, професор кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Безручко К.В., к.т.н., доцент, доцент кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Базима Л.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Нестеренко С.Ю. к.т.н., старший викладач кафедри космічної техніки та нетрадиційних джерел енергії Лоян А.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри конструкції авіаційних двигунів Єпіфанов С.В., д.т.н., доцент, зав. кафедрою аерокосмічної теплотехніки Гакал П.Г.

У результаті обговорення дисертаційної роботи Погудіна Андрія Володимировича голова семінару, рецензенти, а також учасники семінару відзначили обґрунтованість теми, новизну основних результатів

дисертаційної роботи, їхню апробацію та практичне значення і зробили такий висновок:

Висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Погудіна А.В., на тему «Формування динамічних характеристик електронагрівної рушійної установки для космічного буксира» на здобуття наукового ступеня доктора філософії галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

Актуальність теми дослідження. ЕРД вирішують широкий спектр завдань в навколоземному космосі, можуть бути використані в якості маршових двигунів, переклади МКА з проміжних на робочі орбіти (до виведення), для підтримки орбіти окремих супутників в угрупованні, а також в системі орієнтації. У зв'язку із зростанням активного існування супутника (більше десяти років), підвищенням вимог точності положення на орбіті, застосуванням високоточних систем орієнтації підвищується інтерес до ЕРД. Серед ЕРД можна виділити електронагрівні двигуни, як найбільш приближені до хімічних ракетних двигунів. Вони є більш прості в використанні ніж інші ЕРД та мають найвеликий коефіцієнт ціни тяги. Але їх недолік це тривалість попередньої підготовки до запуску. Таким чином, актуальним науковим завданням є скорочення тривалості підготовки до запуску електронагрівної рушійної установки при використанні на космічному буксирі є актуальною.

Мета і завдання дослідження відповідно до предмета та об'єкта дослідження.

Об'єкт дослідження – теплові та електродинамічні процеси в елементах електронагрівної рушійної установки з урахуванням впливу системи електроживлення, що визначають динамічні характеристики тривалості підготовки до запуску електронагрівної рушійної установки.

Предмет дослідження – закономірності теплових та електродинамічних процесів у елементах електронагрівної рушійної установки та динамічні характеристики тривалості підготовки до запуску електронагрівної рушійної установки.

Метою роботи є формування динамічних теплових та електричних характеристик, пов'язаних з тривалістю підготовкою до запуску рушійної установки на базі електронагрівного двигуна.

Для досягнення поставленої мети роботі вирішені такі завдання:

- проведено аналіз існуючих методів виведення груп МКА,
- розроблено концепцію використання ЕНРУ на космічному буксирі для виведення МКА,

- розроблено математичну модель підготовки до запуску електронагрівної рушійної установки, що входить до складу космічного буксира,
- проведено експериментальні роботи з верифікації математичної моделі та підтвердження результатів математичного моделювання,
- розроблено алгоритм підготовки до запуску рушійної установки,
- сформовано рекомендації щодо використання космічного буксира з ЕНРУ

Наукові положення, розроблені особисто дисертантом та їх новизна.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

- 1) *вдосконалено* математичну модель процесу підготовки електронагрівної рушійної установки до запуску, яка отримана на базі математичних рівнянь, що описують динамічні характеристики установки, з урахуванням теплообміну та динамічних характеристик системи електрозабезпечення; зазначена модель вперше дозволила виконати аналіз впливу діючих факторів на тривалість підготовки електронагрівної рушійної установки до запуску;
- 2) *набули подальшого розвитку* методи визначення витратно-тягових характеристик електронагрівної рушійної установки, які дозволили визначити та керувати тягою та витратою робочого тіла електронагрівної рушійної установки за рахунок застосування тензометричного тягоміра на підвісі з підвищеною дискретизацією і мінімальною апертурою, використання ресиверу великого об'єму, що підвищує точність вимірювання витрат робочого тіла, а також використання чотиризондового методу вимірювання вживаної потужності нагрівачів рушійної установки з високою швидкістю.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються. Усі результати науково обґрунтовані, при вирішенні наукових задач використовувалися такі методи: При вирішенні поставлених завдань у дисертаційній роботі використано методи аналізу даних, математичного моделювання у побудові стохастичної динамічної моделі як аналогії теплових процесів у елементах електронагрівної рушійної установки, метод визначників для рішення системи диференціальних рівнянь, декомпозиції математичної моделі, імітаційного моделювання у реалізації динамічних процесів, експериментальні методи вимірювання тяги, витрати робочого тіла, потужності що подається на нагрівачі, методи обробки вимірювань та методи верифікації моделі.

Повнота викладення матеріалів дисертації в роботах, опублікованих автором. Основні результати дисертації опубліковані у 11 наукових працях, серед яких 5 статей у наукових фахових журналах та збірниках наукових праць, у тому числі 1 стаття, яку опубліковано у періодичному науковому виданні, що входить до науково метричної бази Європейського Союзу Web of Science, 2 статті які опубліковано у періодичному науковому виданні іншої країни, що входить до науково метричної бази Європейського Союзу Scopus, 3 публікацій у матеріалах (тезах і доповідях) наукових конференцій:

1. Погудин А. В., Губин С. В. Обзор характеристик и методов создания группировки малых космических аппаратов // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2017. – Вып. 75. – С. 57 – 67.
2. Погудин А. В., Губин С. В. Особенности рационального управления двигательных установок для формирования спутниковой группировки // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2017. – Вып. 78. – С. 74 – 82.
3. Погудин А. В. Математическое моделирование электронагревной двигательной установки в формировании микро спутниковой группировки // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2018. – Вып. 3/147. – С. 45 – 51.
4. Погудин, А. В. Математическое моделирование электронагревного двигателя на этапе запуска // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2019. – Вып. 5/157. – С. 4 – 12.
5. Погудин А. В., Губин С. Н. Минимизация времени подготовки рабочего тела к запуску двигательной установки с электронагревным двигателем // Авиационно-космическая техника и технология: сб. науч. тр. М-во образования и науки Украины, Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ». – Харьков, 2020. – Вып. 1/161. – С. 4 – 11.
6. Pohudin A. et al. Automation of the Manipulator //Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. – Springer, Cham, 2020. – С. 126-138. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_12
7. Pohudin A. et al. Assessing Unmanned Traffic Bandwidth //Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. – Springer, Cham, 2020. – С. 447-458. https://doi.org/10.1007/978-3-030-37618-5_38

8. Pohudin A. et al. Methods and means of the electrothermal arcjet thrusters of spacecraft //Ukrainian metrological journal, 2020. - №1. – pp. 24-34. DOI: 10.24027/2306-7039.1.2020.204197
9. Погудин, А. В. Обоснование выбора среды моделирования электропитания электронагревного двигателя малых космических аппаратов // Збірник матеріалів конференції “Всеукраїнська науково-технічна конференція Інтегровані комп’ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2017”, Харків, 2017. – Х., – Том 1. – С. 220.
10. Погудин А. В., Губин С. В. Обзор характеристик и методов создания группировки малых космических аппаратов // 6-я Международная конференция Космические технологии: настоящее и будущее, Днепр 2017, - С. 41.
11. Погудин А. В. Применение космического буксира с электронагревным двигателем для повышения эффективности формирования группировки малых космических аппаратов // 7-я Международная конференция Космические технологии: настоящее и будущее, Днепр 2019, - С. 41.

Праці [3, 4] опубліковано без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: класифікація групи МКА, що дає можливість відокремити ряд підзадач і обґрунтувати необхідність застосування рушійних установок на окремих мікро-супутниках і формалізації типів двигунів для космічного буксира; математичний опис формування групи МКА [1]; аналіз інформації щодо характеристик ЕРД, визначення основних напрямків їх вдосконалення; виявлення діапазону застосування ЕРД при вирішенні типових завдань в космічному просторі; вибір варіантів рушійних установок орієнтації, стабілізації і корекції групи МКА [2], розробка алгоритму, щодо підготовки робочого тіла до запуску ЕНРУ [5], розробка алгоритму роботи маніпулятора, що може виконувати захват МКА для подальшої деорбітації, а також досліджено можливості використання Arduino Leonardo у складі ЕНРУ [6], автору належить розробка методу створення групи малих безпілотних літальних апаратів на основі моделі інтенсивності заявок пуассонівського процесу і моделі побудови випадкового геометричного графа [7], формування методу вимірювання тяги двигуна, як основної характеристики в сталому і перехідному режимі, методу визначення витрати робочого тіла, корелює з тягою, методу вимірювання параметрів електроспоживання - струмів, напруги, потужності в статиці і динаміці [8].

Результати дисертації опубліковано в повному обсязі.

Апробація дисертації. Апробацію основних положень, ідей, висновків дисертаційної роботи проведено на “Всеукраїнська науково-технічна конференція Інтегровані комп’ютерні технології в

машинобудуванні ІКТМ-2017”, (Україна, м. Харків, 2017 р.). Наукові результати роботи доповідалися також на:

- міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми науково-технічного та правового забезпечення кібербезпеки у сучасному світі (ПНПЗК-2017)» (м. Харків, 2017 р.);
- міжнародній конференції з інформаційно-комунікаційних технологій у галузі освіти, досліджень та промислових застосувань «ICT in Education, Research, and Industrial Applications (ICTER1)» (м. Київ, 2017-18 рр., м. Херсон, 2019 р.);
- 6-я Международная конференция Космические технологии: настоящее и будущее (Україна, м. Дніпро, 2017 р.);
- 7-я Международная конференция Космические технологии: настоящее и будущее (Україна, м. Дніпро, 2019 р.).

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

Отримані автором результати дисертації використовувались при виконанні науково-дослідних робіт у Національному аерокосмічному університеті ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», у відділенні Міжгалузевого науково-технічного центру космічної енергетики й двигунів кафедри космічної техніки і нетрадиційних джерел енергії № 402 і за договором №402-16-2018 «Проведення завершальній довідних випробувань двигунів и АРУ в цілому. Проведення ресурсних випробувань парогенератора, двигуна. Поставка МПЗС »

Роль автора в НДР і проектах, в яких він є безпосереднім виконавцем, полягає у розробленні методів визначення витратно-тягових характеристик електронагрівної рушійної установки.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- розробці рекомендації щодо застосування електронагрівної рушійної установки зі скороченням часу попередньої підготовки бортової рушійної установки, для використання на космічних буксирах для виведення груп малих космічних апаратів шляхом орбітальних переходів від наперед заданої опорної орбіти до необхідних орбітальних позицій, ці рекомендації можуть бути застосовані для використання та підвищення якості проектів зі створення супутникових угруповань у доробках ДП «КБ «Південне»» за космічною програмою України;
- розробці концепції використання електронагрівних рушійних установок на космічних буксирах для виведення груп малих космічних апаратів від опорної орбіти до необхідних орбітальних позицій, яка також може бути використана у зазначених проектних роботах;
- розробці експериментального обладнання для вимірювання тяги електронагрівного двигуна у вакуумній камері, а також пристрої

вимірювання витрат робочого тіла і визначення потужності, яка подається на нагрівальні елементи рушійної установки на базі Міжгалузевого науково-технічного центру «Космічна енергетика та двигуни»;

- розробці алгоритму підготовки до запуску електронагрівної рушійної установки для скорочення етапу запуску двигуна з урахуванням потужності системи електропостачання космічного буксира і з опробуванням до реалізації на універсальному контролері, поєднаному з експериментальною електронагрівної рушійної установки.

Оцінка мови, стилю та оформлення дисертації. Дисертацію написано грамотною українською мовою. Стиль викладення матеріалів досліджень, наукових положень, висновків та рекомендацій забезпечує легкість і доступність їх сприйняття. Дисертацію оформлено за вимогами, передбаченими Наказом МОН України від 12.01.2017 р. № 40 «Про затвердження Вимог до оформлення дисертації».

Дотримання академічної доброчесності. Роботу Погудіна А.В. перевірено на плагіат програмним засобом «Advego Plagiatius». Рівень оригінальності становить: Розділ 1 - 95%, Розділ 2 - 97%, Розділ 3 - 100%, Розділ 4 - 100%. Визначено, що наявні окремі співпадиння з власними публікаціями, термінологією, посиланнями на літературу та нормативними документами, а також загальноживаними фразами.

Відповідність змісту дисертації спеціальності, за якою вона захищається. За змістом дисертаційна робота Погудіна А.В. повністю відповідає спеціальності 142 Енергетичне машинобудування.

Рекомендація дисертації до захисту. Робота Погудіна А.В. «Формування динамічних характеристик електронагрівної рушійної установки для космічного буксира» відповідає вимогам передбаченим пунктом 10 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р № 167) та може бути представлена у разовій спеціалізованій вченій раді для присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

З урахуванням викладеного, на фаховому семінарі винесена пропозиція поставити на голосування три питання:

1. Ухвалити в цілому наукову доповідь здобувача Погудіна А.В.
2. Враховуючи наукову новизну отриманих результатів дисертаційної роботи, їх практичне значення, високий науковий і практичний рівень виконаних досліджень, рекомендувати дисертаційну роботу Погудіна А.В. до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття наукового

ступеня доктора філософії в галузі знань 14 Електрична інженерія за спеціальністю 142 Енергетичне машинобудування.

3. Затвердити висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації Погудіна А.В.

Відбулося відкрите голосування. Результати відкритого голосування:

Перше питання - «за» - 15, «проти» - немає «утримались» - немає. Друге питання - «за» - 15, «проти» - немає, «утримались» - немає. Третє питання - «за» - 15, «проти» - немає, «утримались» - немає.

Рецензент, д.т.н., доцент



П.Г. Гакал

Рецензент к.т.н.



А.В. Лоян

Голова фахового семінару, к.т.н.



С.В. Сінченко

Секретар фахового семінару



Т.А. Проненко