

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи

Дніпровського національного

університету імені Олеся Гончара

Олег МАРЕНКОВ

 «2025 р.

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації на тему «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником», представленої на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 Прикладна математика

ВИТЯГ

з протоколу №1 від 10 червня 2025 року міжкафедрального семінару механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара

ПРИСУТНІ: 8 з 8 членів наукового семінару.

ГОЛОВОЮЧИЙ: канд. фіз-мат. наук, проф. Хамініч О.В. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми). декан механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

СЕКРЕТАР ЗАСІДАННЯ: канд. фіз-мат. наук, доц. Кравець О.В. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

Члени наукового семінару:

д-р техн. наук, проф. Дреус. А.Ю. (05.15.09 – геотехнічна і гірнича механіка), завідувач кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р фіз.-мат. наук, проф. Давидов С.О. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

д-р техн. наук, проф. М. М. Дронь (05.13.03 – системи і процеси управління); професор кафедри проектування та конструкцій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. фіз.-мат. наук, доц. Бразалук Ю.В. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Губін О.І. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

канд. техн. наук, доц. Геті К.В. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара;

ЗАПРОШЕНИ ФАХІВЦІ (3 особи, з правом голосу):

д-р техн. наук, доц. Коряшкіна Л.С. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри системного аналізу та управління Національного ТУ «Дніпровська політехніка»;

д-р техн. наук, проф. Хорошилов С.В. (05.13.03 – системи та процеси керування), заступник директора з наукової роботи Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України;

д-р техн. наук, с.н.с. Дзюба С.В. (05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»), т.в.о. директора Придніпровського наукового центру НАН України і МОН України.

На засіданні присутній аспірант: Стрембовський В. В.

Аспірант участі в голосуванні не брав.

Порядок денний: розгляд і обговорення дисертаційної роботи Стрембовського Володимира Васильовича на тему «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником», поданої на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 – Прикладна математика.

Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 5 від 18 листопада 2021 року). Науковим керівником призначено д-р техн. наук, проф. Дреуса А.Ю.

Підготовка здобувача третього рівня вищої освіти здійснюється за акредитованою освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» зі спеціальності 113 — Прикладна математика (сертифікат про акредитацію освітньої програми 2068, дійсний до 01.07.2027 р.).

СЛУХАЛИ:

Обговорення дисертації аспіранта 4 року навчання Стрембовського Володимира Васильовича на тему «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником» на здобуття ступеня доктора філософії зі спеціальності 113 — Прикладна математика.

Перевірку на plagiat здійснивала комісія у складі: канд. фіз-мат. наук, доцент, в.о. зав. кафедри теоретичної та комп’ютерної механіки Комаров О.В., канд. фіз-мат. наук, проф., декан Механіко-математичного факультету, Хамініч О.В., канд. техн. наук, доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Геті К.В.

За результатами перевірки дисертаційної роботи на plagiat програмою «Strikeplagiarism» зроблено висновок: дисертаційна робота Стрембовського В.В. має рівень унікальності (99.19 %) і може бути допущена до захисту.

Робота виконана на 7 авторських аркушах і містить такі складові частини: анотація, зміст, вступ, 4 розділи, висновки, перелік джерел, додатки.

Слово надається аспіранту Стрембовському В.В. Будь ласка, регламент виступу – 20 хвилин.

Аспірант Стрембовський В.В.

Шановний голово семінару, шановні члени міжкафедрального семінару, шановні присутні!

Тема моєї дисертації: «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником».

Обґрунтування вибору теми дослідження. Зі зростанням кількості штучних супутників, запусків ракет та фрагментацийних подій, проблема космічного сміття вийшла на передній план світової космічної безпеки. На навколоземних орбітах – особливо на низьких (LEO) – накопичено десятки тисяч об'єктів, що вже не функціонують, але становлять реальну загрозу для активних апаратів та міжнародної інфраструктури.

Одним із перспективних методів зменшення кількості космічного сміття є кероване зведення об'єктів з орбіти з подальшим згорянням в атмосфері Землі. Щоб зробити цей процес ефективним і безпечним, необхідно оптимізувати

траєкторію спуску так, щоби забезпечити гарантовану термічну деструкцію об'єкта, мінімізуючи ризик досягнення уламками земної поверхні. У цьому контексті виникає задача оптимізації траєкторій відведення космічних об'єктів (елементів сміття), що забезпечує: максимізацію теплового навантаження в критичних зонах конструкції, визначення ефективного кута входу для повного знищення об'єкта без створення нових загроз. Розв'язання такої задачі може бути виконано з використанням сучасних методів математичної оптимізації з використанням технологій штучного інтелекту.

Актуальність дослідження обумовлюється тим, що тематика досліджень пов'язана з новими методами керованого відведення фрагментів космічного сміття з LEO, що розробляються в теперішній час в Україні. Впровадження таких методів сприятиме вирішенню проблеми екологічної безпеки космічного простору, та є стратегічної задачею для всіх космічних держав, до яких відноситься і Україна. Використання моделей аеродинамічного нагріву, оптимального керування, машинного навчання та генетичного оптимізації дозволяє створює новий високоефективний підхід для проєктування новітніх активних і комбінованих методів та технологій відведення космічного сміття.

Зв'язок з науковими програмами та темами. Тематика досліджень пов'язана з держбюджетною темою 4-648-20 «Теоретичне і експериментальне обґрунтування автофажних систем відведення космічних об'єктів з низьких навколоzemних орбіт», № держреєстрації 0120U102254, що фінансувалася Міністерством освіти і науки в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.

Метою роботи є розробка інтегрованої методики прогнозування максимальних теплових навантажень та вибору траєкторних параметрів руху космічних об'єктів в атмосфері Землі на основі поєднання методів машинного навчання і генетичної оптимізації.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **наукові завдання**:

1. Аналітичний огляд існуючих математичних моделей та інженерних методик прогнозування аеродинамічного нагріву КО; виокремлення кола підзадач, у яких традиційні підходи демонструють обмежену точність або надмірні обчислювальні витрати.

2. Формування репрезентативного датасету, що охоплює траєкторні, геометричні та фізико-механічні параметри КО; забезпечення очищення,

нормалізації та генерації розширених комбінацій вхідних ознак для подальшого моделювання.

3. Розробка та навчання моделей машинного навчання; оцінка ефективності алгоритмів машинного навчання; вибір оптимальної архітектури.

4. Побудова генетичного алгоритму для пошуку оптимальних траєкторій параметрів, що максимізують інтегральне теплове навантаження на критичному інтервалі.

5. Узагальнення рекомендацій щодо вибору початкових умов входу для різних типових класів космічних об'єктів; формулювання практичних вказівок для проектування місій активного або комбінованого видалення сміття з урахуванням теплового чинника.

Об'єкт дослідження. Процес керованого відведення космічного сміття з орбіти шляхом входу в атмосферу Землі.

Предмет дослідження. Математичні моделі та алгоритми оптимізації траєкторій зниження космічних об'єктів з урахуванням теплового навантаження, зокрема на основі машинного навчання та генетичних алгоритмів.

Методи дослідження. У процесі дослідження використовувався комплекс методів, що охоплюють: аналіз і синтез науково-технічної інформації – для вивчення існуючих підходів до прогнозування аеродинамічного нагріву, зведення об'єктів з орбіти та методів оптимального керування, методи математичного моделювання – для побудови моделей руху космічних об'єктів в атмосфері, включаючи рівняння динаміки польоту, моделі аеродинамічного опору та теплового навантаження, методи машинного навчання – для побудови емпіричних моделей прогнозування теплового навантаження на основі великої кількості вхідних параметрів (форма, маса, кут входу, швидкість тощо): регресійні моделі, дерева рішень, нейронні мережі, генетичні алгоритми – для оптимізації траєкторій параметрів з урахуванням цільової функції, що включає максимізацію теплового навантаження та мінімізацію ризику досягнення уламками земної поверхні.

Наукова новизна.

1. Вперше для визначення теплових навантажень на об'єкт, що рухається в атмосфері Землі побудована модель МН, що дозволяє комплексно оцінити вплив траєкторій параметрів на теплові потоки, що виникають на атмосферних ділянках траєкторій.

2. Вперше використано гібридний підхід, що поєднує машинне навчання для точного прогнозування характеристик теплового потоку та генетичний алгоритм для оптимізації параметрів траєкторії входу в атмосферу.

Практична значимість дослідження полягає в розробці методики для розрахунку до оптимізації траєкторій зведення космічних об'єктів з орбіти з урахуванням теплового чинника. Запропонована методика може бути використана під час проєктування місій активного видалення космічного сміття для вибору параметрів входу в атмосферу, що забезпечують гарантоване згорання об'єкта без утворення фрагментів, які можуть досягти земної поверхні або залишитися на орбіті. Для створення автоматизованих програмних комплексів – які поєднують алгоритми оптимізації, машинного навчання та моделі теплової деструкції для підтримки рішень у реальному часі при управлінні спуском космічних тіл, а також у навчальному процесі та підготовці фахівців – як приклад міждисциплінарної задачі, що поєднує космічну механіку, термодинаміку, оптимізацію та штучний інтелект.

Достовірність отриманих результатів забезпечується використанням широко апробованих моделей, коректністю математичних постановок задач, використанням методів та алгоритмів, що є теоретично обґрунтованими та не суперечливими із відомими положеннями інших авторів, контролюваною точністю обчислень, валідацією моделі на незалежних даних, несуперечністю отриманих результатів відповідним опублікованим результатам інших авторів.

У своїй доповіді аспірант описав структуру дисертації, яка складається із вступу, чотирьох розділів та висновків.

У **вступі** викладено обґрунтування вибору теми на тлі стрімкого накопичення космічного сміття та пов'язаних ризиків для орбітальної інфраструктури. Окреслено зв'язок роботи за науковими програмами і темами. Сформульовано мету і задачі дослідження. Визначено об'єкт і предмет дослідження. Підкреслено очікувану наукову новизну й практичну цінність роботи. Наведено відомості про особистий внесок автора, структуру і обсяг дисертації.

У **першому розділі** здійснено розширений аналітичний огляд класичних напівемпіричних кореляцій, CFD-підходів та інженерних програмних пакетів для оцінювання теплових навантажень при вході в атмосферу. Розглянуто стан технологій активного, пасивного та комбінованого видалення космічного сміття, включно з результатами демонстраційних місій. Виявлено провідну роль кута

входу й початкових кінематичних параметрів у формуванні інтегрального теплового навантаження на КО. Сформульовано перелік невирішених науково-прикладних питань, що потребують удосконалення й визначають напрямок дисертаційного дослідження.

У другому розділі побудовано фізично-математичну модель руху КО в атмосфері Землі та сформульовано задачу максимізації інтегрального теплового навантаження з урахуванням кінематичних і термостійкісних обмежень. Запропоновано варіаційну постановку, у якій кут входу θ виступає оптимізовним параметром, а нагрів описується інтегралом теплового потоку. Обґрунтовано використання гібридної схеми «машинне навчання + генетичний алгоритм», що поєднує швидкий нейромережевий прогноз теплового навантаження із глобальним еволюційним пошуком оптимального кута входу. Визначено робочі діапазони параметрів моделей та критерії прийнятності розв'язків щодо точності та обчислювальних витрат.

У третьому розділі детально викладено процедуру формування навчального датасету з каталогу ESA DISCOS: очищення, усунення викидів, генерацію похідних ознак і стратифіковане розбиття на підвибірки. Проведено статистичний аналіз, який підтверджив відсутність мультиколінеарності та визначив релевантність кожної ознаки. Описано вибір архітектур машинного навчання, а також реалізовано баєсову оптимізацію їхніх гіперпараметрів. Показано, як підготовлена вибірка й налаштовані моделі інтегруються у подальший ГА-процес оптимізації траекторій.

У четвертому розділі виконано фінальне навчання обраних нейромереж на повному датасеті та здійснено їх порівняльну оцінку за валідною похибкою, швидкодією та ресурсними витратами. Transformer-модель піддалася зовнішній валідації на незалежних експериментальних даних ESA, що підтвердило її високий рівень узагальнення. Використовуючи цю модель як функцію пристосованості, проведено серію ГА-експериментів для різних масово-геометричних конфігурацій, отримано оптимальні кути входу й визначено відповідні інтегральні теплові навантаження. Сформульовано практичні рекомендації щодо параметрів деорбітальних маневрів, які підвищують ймовірність повного згоряння КО в атмосфері.

Після закінчення доповіді Стрембовському В.В.. присутніми були поставлені такі запитання.

ЗАПИТАННЯ ТА ВІДПОВІДІ

Доктор техн. наук, доц. Коряшкіна Л.С. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри системного аналізу та управління Національного ТУ «Дніпровська політехніка»:

За рахунок вибору яких параметрів ви максимізуете теплове навантаження і які області допустимих значень під час генетичної оптимізації.

Стрембовський В. В.:

У якості такого параметру в моєму дослідження використовується кут входу космічного об'єкту в атмосферу Землі. Швидка оцінка отриманого теплового навантаження здійснюється за допомогою навченої моделі машинного навчання, а генетичний алгоритм визначає оптимальний кут входу у діапазоні мас, що був визначений при аналізі датасету Європейської космічної агенції.

Доктор техн. наук, проф. Хорошилов С.В. (05.13.03 – системи та процеси керування), заступник директора з наукової роботи Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:

Чому ви вирішили використати саме ці три архітектури нейронних мереж? Чим був обумовлений вибір архітектур?

Стрембовський В. В.:

Вибір даних архітектури машинного навчання обумовлений специфікою поставленої задачі та прагненням збалансувати точність моделі з обчислювальною ефективністю. За результатами дослідження модель алгоритму Transformer показала найкращу якість апроксимації.

Доктор техн. наук, проф. Хорошилов С.В. (05.13.03 – системи та процеси керування), заступник директора з наукової роботи Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:

І друге питання. Як ви забезпечили достовірність отриманих результатів? Як ви визначали еталонні значення?

Стрембовський В. В.:

Була здійснена зовнішня валідація побудованої Transformer-моделі на незалежних експериментальних даних каталогу DISCOS ESA. Для проведення аналізу відібрано репрезентативну підгрупу з трьох космічних об'єктів, які відрізняються за аеродинамічними, масовими та геометричними характеристиками

Доктор фіз.-мат. наук, проф. Давидов С.О. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

У вас назва роботи «Оптимізація траєкторії руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником». Це мається на увазі повертання космічних об'єктів з космосу до земної поверхні, чи навпаки?

Стрембовський В. В.:

Мова йде про входження космічного об'єкту в атмосферу Землі.

Доктор фіз.-мат. наук, проф. Давидов С.О. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

І друге питання. Прогнозування оптимальних теплових навантажень. Це мінімізація чи максимізація? Варто уточнити про що йде мова.

Стрембовський В. В.:

Максимізація. Саме отримання максимальних теплових навантажень під час входу в атмосферу Землі. Нам відома температура яка відповідає температурі теплового руйнування для конкретного КО, ми визначаємо час коли це руйнування має початися і обчислюємо кількість тепла отриманого цим об'єктом, і шукаємо за допомогою генетичного алгоритму максимальне значення цього тепла. Тобто чим більше тепла отримає об'єкт при температурі теплового руйнування тим більше шансів що об'єкт згорить в атмосфері Землі.

Кандидат техн. наук, доц. Губін О.І. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чи враховує ваша модель нерівномірний тепловий потік по об'єму космічного об'єкта? Як ви в своїй моделі, в розрахунках враховуєте нерівномірність теплового потоку, його залежність від того, що матеріал почав плавитися?

Стрембовський В. В.:

Наразі модель машинного навчання не враховує нерівномірність теплового потоку. Але в майбутньому підхід машинного навчання при збільшенні параметрів, ознак, кількості даних, при врахуванні процесів плавлення та аблляції, дозволяє донавчити цю модель, щоб вона враховувала ці нові процеси і дані. Це дозволить в майбутньому зробити прогнози більш якіснішими.

Доктор техн. наук, с.н.с. Дзюба С.В. (05.15.09 – «Геотехнічна і гірнича механіка»), т.в.о. директора Придніпровського наукового центру НАН України і МОН України:

У вас є впровадження ваших результатів? Ви не сказали про це у вашій доповіді.

Стрембовський В. В.:

Ні, впроваджень немає. Але розроблена методика може бути використана в освітньому процесі та підготовці фахівців як приклад міждисциплінарної задачі, що інтегрує елементи космічної механіки, термодинаміки, оптимізації та штучного інтелекту.

Голова семінару, канд. фіз-мат. наук, проф. Хамініч О.В., декан механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Запитань більше немає. Переходимо до обговорення дисертаційної роботи Стрембовського Володимира Васильовича. Дослідження виконувалася на кафедрі аерогідромеханіки та енергомасопереносу. Науковим керівником роботи є доктор технічних наук, завідувач кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дреус Андрій Юлійович, який є провідним фахівцем в цьому напрямі. Стосовно нашого пошукача. Стрембовський В.В. закінчив ДНУ ім. О. Гончара за спеціальністю гідрааеродинаміка у 2000 році. У 2021 році він вступив до аспірантури університету за спеціальністю 113 Прикладна математика і навчався за цією однайменною освітньою програмою підготовки докторів філософії, а саме Прикладна математика. За даними відділу аспірантури і докторантурі ДНУ ім. О. Гончара він повністю виконав навчальний план підготовки. Підсумковий звіт Стрембовського В.В. з навчальної та наукової роботи був заслуханий на засіданні кафедри аерогідродинаміки та енергомасопереносу, на якій було прийнято рішення заслухати Володимира Васильовича на міжкафедральному семінарі механіко-математичного факультету. Слово надається науковому керівнику.

ВИСТУП НАУКОВОГО КЕРІВНИКА:

Дисертація присвячена проблемі зменшення космічних відходів шляхом оптимізації відведення нефункціональних об'єктів з орбіти, що є актуальним завданням для екологічної безпеки космічного простору. Робота має значну наукову новизну, включаючи розробку моделі машинного навчання для оцінки теплових навантажень та гіbridної методики, що поєднує машинне навчання з

генетичним алгоритмом для оптимізації параметрів входження об'єкта в атмосферу.

Мій офіційний висновок із оцінкою роботи аспіранта 4 року навчання Стрембовського Володимира Васильовича подано до відділу аспірантури та голові на засіданні сьогоднішнього міжкафедрального наукового семінару.

Під час виконання дисертаційної роботи Стрембовський В.В. здійснив грунтовне наукове дослідження, спрямоване на вивчення сучасного стану проблематики, окресленої в дисертації. Було обґрунтовано вибір об'єкту дослідження, предмету та методів, сформульовано актуальність теми, визначено мету та основні наукові завдання. У процесі роботи проявив себе як відповідальний, наполегливий та стараний дослідник.

За результатами виконання дисертаційної роботи опубліковано 4 наукові праці, у тому числі 2 публікації у фахових журналах України, 2 публікації у наукових виданнях цитування Scopus.

Вважаю, що з огляду на успішне виконання Стрембовським В.В. індивідуального навчального плану, індивідуального плану наукової роботи, досягнення результатів навчання відповідно до освітньо-наукової програми, а також завершення написання дисертації, яка є результатом самостійного наукового дослідження, містить елементи наукової новизни, виконана на належному теоретичному та методичному рівні та відповідає вимогам, встановленим до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, дисертаційна робота на тему «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником» може бути рекомендована до захисту. У зв'язку з цим звертаюся з проханням підтримати дану роботу. Дякую за увагу.

В ОБГОВОРЕННІ ДИСЕРТАЦІЇ СТРЕМБОВСЬКОГО В. В. ВЗЯЛИ УЧАСТЬ:

Доктор техн. наук, проф. Хорошилов С.В. (05.13.03 – системи та процеси керування), заступник директора з наукової роботи Інституту технічної механіки НАН України і ДКА України:

Дисертаційна робота і доповідь Стрембовського Володимира Васильовича склали добре враження. Розглянута задача оптимізації траєкторій відведення космічних об'єктів, що забезпечує: максимізацію теплового навантаження в критичних зонах конструкції, визначення ефективного кута входу для повного знищення об'єкта без створення нових загроз. Обґрунтовано використання гібридної схеми «машинне навчання + генетичний алгоритм», що поєднує швидкий нейромережевий прогноз теплового навантаження із глобальним еволюційним пошуком оптимального кута входу. Визначено робочі діапазони

параметрів моделей та критерії прийнятності розв'язків щодо точності та обчислювальних витрат. Також хотілось звернути увагу, що здобувачем проведена верифікація отриманих результатів.

На завершення хочу зазначити, що дисертація здобувача присвячена актуальній тему, містить новаторські підходи, а отримані результати є достовірними, тому я рекомендую її до захисту на разовій раді.

Доктор техн. наук, доц. Коряшкіна Л.С. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри системного аналізу та управління Національного ТУ «Дніпровська політехніка»:

Шановні колеги! Ми заслухали змістовну наукову доповідь здобувача, після чого відбулася конструктивна та плідна наукова дискусія. У процесі виступу та обговорення Стрембовський В.В. продемонстрував високий рівень наукової підготовки, виявив здатність самостійно формулювати й розв'язувати складні наукові завдання в галузі прикладної математики, що свідчить про його сформованість як дослідника.

Як на мене, задача прогнозування максимальних навантажень під час входу в атмосферу Землі цікава дуже. І вона має прикладні аспекти. Із зауважень хочу підкреслити, як вже зазначали колеги треба акцентувати увагу що оптимізація це ж все ж таки максимізація. Вважаю, що ми повинні підтримати цю роботу та рекомендувати її для подальшого захисту. І я бажаю успіхів. Дякую.

Кандидат фіз-мат. наук, доц. Кравець О.В. (01.02.05 – механіка рідини, газу та плазми), доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Повністю підтримую позицію моїх колег відносно дисертаційної роботи здобувача. Вважаю цю роботу завершеною і пропоную її до захисту в разовій спеціалізованій раді за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Кандидат техн. наук, доц. Губін О.І. (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Також приєднуюся до висловлених колегами думок. Зауважень до змісту дисертаційної роботи не маю. Дисертація виконана на високому науковому рівні, відзначається значним ступенем оригінальності та самостійності. У зв'язку з цим вважаю за доцільне рекомендувати її до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 113 – Прикладна математика.

Голова семінару, канд. фіз-мат. наук, проф. Хамініч О.В., декан механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара:

Чи є ще бажаючі виступити? Якщо ні, то хочу зазначити, що робота справила на мене позитивне враження. Самі публікації і виступ здобувач, розуміння тих процесів, висвітлених в роботі у нього ґрунтовне Відчувається, що здобувач чудово володіє предметом, чітко відповідає на всі питання, що свідчить про його повне формування як фахівця та дослідника.

Пропонується результатом семінару визначити, що представлена Володимиром Стрембовським дисертаційна робота «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником» є завершеним науковим дослідженням. Відповідає вимогам стандарту вищої освіти за спеціальністю 113 прикладна математика за третім освітньо-науковим рівнем. Тематика роботи є актуальною, результати мають наукову новизну і практичну цінність, про що було сьогодні неодноразово підкреслено. І робота буде рекомендуватися для захисту в разовій спеціалізованій раді ДНУ. Я вважаю, що ми маємо всі підстави проголосувати за подання дисертації Стрембовського В.В. до захисту та побажати йому подальших успіхів.

Тепер щодо формальної процедури. Якщо немає питань до голови семінару, до здобувача, то давайте перейдемо до висновку.

ВИСНОВОК

Актуальність теми дисертації обумовлюється тим, що тематика досліджень пов'язана з новими методами керованого відведення фрагментів космічного сміття з LEO, що розробляються в теперішній час в Україні. Впровадження таких методів сприятиме вирішенню проблеми екологічної безпеки космічного простору, та є стратегічною задачею для всіх космічних держав, до яких відноситься і Україна. Використання моделей аеродинамічного нагріву, оптимального керування, машинного навчання та генетичного оптимізації дозволяє створює новий високоефективний підхід для проєктування новітніх активних і комбінованих методів та технологій відведення космічного сміття.

Затвердження теми та плану дисертації.

Тема дисертації затверджена на засіданні вченої ради Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара (протокол № 5 від 18 листопада 2021 року). Науковим керівником призначено д-ра. техн.. наук, проф. Дреуса А.Ю. Підготовка здобувача третього рівня вищої освіти здійснюється за

акредитованою освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» зі спеціальності 113 Прикладна математика (сертифікат про акредитацію освітньої програми 2068, дійсний до 01.07.2027 р.).

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

Дисертаційна робота виконувалася у відповідності з індивідуальним планом підготовки аспіранта кафедри кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу механіко-математичного факультету Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Тематика досліджень пов'язана з держбюджетною темою 4-648-20 «Теоретичне і експериментальне обґрунтування автофажних систем відведення космічних об'єктів з низьких навколоzemних орбіт», № держреєстрації 0120U102254, що фінансувалася Міністерством освіти і науки в Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара.

Публікації та особистий внесок здобувача.

За темою дисертації опубліковано 4 статті. Чотири з них опубліковано у виданнях, що входять до наукометричної бази Scopus, а дві статті – у виданнях, що входять до переліку наукових фахових видань України категорії Б. Основні результати дисертації отримано автором самостійно. У працях, що опубліковані у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в аналізі та систематизація світових практик використання методів машинного навчання, їхній програмній реалізації, візуалізації отриманих результатів, верифікації даних комп’ютерного моделювання. Публікації Стрембовського В.В. 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 (зі змінами).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації. Обґрунтованість і достовірність одержаних результатів забезпечується застосуванням загальновизнаних та багаторазово апробованих моделей, коректним формулюванням математичних постановок задач, використанням теоретично обґрунтованих методів і алгоритмів, що не суперечать усталеним науковим положенням. Окрім цього, достовірність підтверджується контролюваною точністю обчислень, проведеним валідації моделей на незалежних вибірках, а також узгодженістю отриманих результатів з опублікованими даними інших дослідників.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. **Вперше** для визначення теплових навантажень на об'єкт що рухається в атмосфері Землі побудована модель МН що дозволяє комплексно оцінити вплив траєкторних параметрів на теплові потоки що виникають на атмосферних ділянках траєкторій.

2. **Вперше** використано гібридний підхід, що поєднує машинне навчання для точного прогнозування характеристик теплового потоку та генетичний алгоритм для оптимізації параметрів траєкторії входу в атмосферу.

Практичне значення одержаних результатів.

Запропоновано методику розрахунку та оптимізації траєкторій зведення космічних об'єктів з орбіти з урахуванням теплового чинника.

Розроблена методика може бути використана на етапах проєктування місій з активного видалення космічного сміття для вибору параметрів входу в атмосферу, що забезпечують гарантоване згорання об'єкта без утворення фрагментів, здатних досягти земної поверхні або залишитися на орбіті.

Отримані результати можуть бути інтегровані в автоматизовані програмні комплекси, які поєднують алгоритми оптимізації, моделі тепової деструкції та машинне навчання для прийняття рішень у реальному часі під час керування спуском космічних тіл.

Крім того, розроблені підходи можуть бути використані в освітньому процесі для підготовки фахівців як приклад розв'язання міждисциплінарної задачі, що поєднує елементи космічної механіки, термодинаміки, оптимізації та штучного інтелекту.

Список опублікованих праць за темою дисертациї

1. Strembovskyi V., Dreus A. Identification of heat loads on space objects re-entering the Earth's atmosphere using machine learning methods. *Journal of Rocket-Space Technology*. 2024. Vol. 33, no. 4-29. P. 65–73. URL: <https://doi.org/10.15421/452452>. (фахове видання, категорія Б) (особистий внесок Стрембовського В.В.: побудовано моделі машинного навчання та виконано розрахунки).

2. Strembovskyi V. V., Dreus A. Y. Analiz практики використання методів машинного навчання для моделювання траєкторій руху космічних об'єктів. *Journal of Rocket-Space Technology*. 2024. Т. 33, № 4. С. 108–117. URL: <https://doi.org/10.15421/452415>. (фахове видання, категорія Б) (особистий внесок Стрембовського В.В.: проведено аналіз та систематизація

світових практик використання методів машинного навчання для вирішення задач космічних місій).

3. A. Yu. DREUS, M. M. DRON, G. DUBOVIK, V. V. STREMBOVSKYI Assessment of the possibility of using polymers in the bodies of promising launch vehicles based on the heat resistance factor. *Kosmična nauka i tehnologīâ*. 2023. Vol. 29, no. 6. P. 03–12. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2023.06.003>. (фахове видання, категорія А, Scopus, Q4) (особистий внесок Стрембовського В.В.: виконано аналіз впливу теплових навантажень на характеристики матеріалів).

4. Dreus, A.; Strembovskiy, V.; Dubovik, L.; Dron, M.; Golubek, A. Thermal optimization of trajectories of space debris removal into the earth's atmosphere. *Proceedings of the International Astronautical Congress*, IAC, 2022. ISSN: 00741795. | (Scopus) (особистий внесок Стрембовського В.В.: розроблено алгоритм генетичної оптимізації).

На підставі заслухування та обговорення доповіді Стрембовського В. В. про основні положення дисертаційної роботи, питань та відповідей на них, члени семінару

УХВАЛИЛИ:

1. Вважати, що за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної цінності здобутих результатів дисертація Стрембовського Володимира Васильовича на тему тему «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником», відповідає вимогам Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії від 12 січня 2022 р. № 44 (зі змінами).
2. Рекомендувати дисертаційну роботу Стрембовського Володимира Васильовича на тему «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником» до захисту в разовій спеціалізованій вченій раді на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика.
3. Клопотати перед вченою радою університету розглянути питання про створення спеціалізованої вченої ради для проведення разового захисту дисертації на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 – Прикладна математика Стрембовського Володимира Васильовича у такому складі:

№ з/ п	Прізвище, ім'я, по батькові	Місце основної роботи, підпорядкуван- ня, 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
1	2	3	4	5	6
1	Давидов Сергій Олександро вич (голова)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, професор кафедри ракетно- космічних та інноваційних технологій	Доктор технічних наук, 05.07.02 – проектуван- ня, виробництв о та випробуван- ня літальних апаратів, 2009 р	Професор кафедри проектування і конструкцій літальних апаратів, 2011 р.	<p>1. Давидов, С. О., Давидова, А. В., Кривенко, А. А., & Чуприна, А. А. (2024). Покращення проектних параметрів систем забезпечення сущільноті палива інерційного типу. <i>Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки</i>, 34(1), 49-57. https://doi.org/10.15421/472405 (фахове видання, категорія Б).</p> <p>2. Вплив температури на працездатність паливної системи космічних літальних апаратів / С. О. Давидов та ін. <i>System design and analysis of aerospace technique characteristics</i>. 2022. Т. 30, № 1. С. 3–13. URL: https://doi.org/10.15421/472201. (фахове видання, категорія Б).</p> <p>3. Математичне моделювання взаємодії сітчастих розділювачів фаз з газовими пузырями в умовах змінного поля масових сил / С. О. Давидов та ін. <i>System design and analysis of aerospace technique characteristics</i>. 2021. Т. 29, № 2. С. 23–38. URL: https://doi.org/10.15421/472109. (фахове видання, категорія Б).</p>

1	2	3	4	5	6
2	Хорошилов Сергій Вікторович (опонент)	Інститут технічної механіки НАНУ і ДКАУ, заступник директора з наукової роботи.	Доктор технічних наук, 05.13.03 – системи та процеси керування, 2014 р.	Професор кафедри спеціалізова них комп'ютерни х систем, 2020 р.	<p>1. Fokov, A. A., Khoroshyllov, S. V., & Svorobin, D. S. (2021). Out-of-plane relative motion of a spacecraft with an aerodynamic compensator during contactless space debris removal. <i>Space Science and Technology</i>, 27(2), 15–27. https://doi.org/10.15407/knit2021.02.01 5 (фахове видання, категорія А, Scopus Q4).</p> <p>2. Redka M., Khoroshyllov C. Convolutional neural networks for determining the ion beam impact on a space debris object. <i>Science and innovation</i>. 2023. Vol. 19, no. 6. P. 19–30. URL: https://doi.org/10.15407/scine19.06.019. (фахове видання, категорія А, Scopus Q4).</p> <p>3. Khoroshyllov S. V., Redka M. O. Deep learning for spacecraft guidance, navigation, and control. <i>Kosmічна nauka i tehnologіâ</i>. 2021. Vol. 27, no. 6. P. 38–52. URL: https://doi.org/10.15407/knit2021.06.038. (фахове видання,, категорія А, Scopus Q4).</p>
3	Коряшкіна Лариса Сергіївна (опонент)	Національний ТУ «Дніпровська політехніка». Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри системного аналізу та управління	Доктор технічних наук, 01.05.02 – математичн е моделюванн я та обчислювал ьні методи, 2024 р.	Доцент кафедри системного аналізу та управління, 2024 р.	<p>1. K. Khabarlak, L. Koriashkina. Fast Facial Landmark Detection and Applications: A Survey. <i>JCS&T</i>, 2022. Vol. 22, no. 1. P. 12-41. DOI: https://doi.org/10.24215/16666038.22.e02 (фахове видання, категорія А, Scopus Q2).</p> <p>2. Avramenko S. E., Zheldak T. A., Koriashkina L. S. Guided hybrid genetic algorithm for solving global optimization problems. <i>Radio electronics, computer science, control</i>. 2021. No. 2. P. 174–188. URL: https://doi.org/10.15588/1607-3274-2021-2-18. (фахове видання, категорія А)</p> <p>3. L. Koriashkina., D. Lubenets. Systems analysis and mathematical modeling of partially two-stage processes of material flow distribution. <i>System technologies</i>. 2024. Vol. 1, no. 150. P. 86–99. URL: https://doi.org/10.34185/1562-9945-1-150-2024-08. (фахове видання, категорія Б).</p>

1	2	3	4	5	6
4	Ходанен Тетяна Володимир івна (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки	Кандидат фізико- математи- чних наук, 01.02.04- механіка деформов- аного тіла, 2009 р	Доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки, 2015 р.	<p>1. Labibov R., Khodanen T. (2024) Development of slip line of plasticity localization in construction materials // Scientific Journal of TNTU (Tern.), vol 116, no 4, pp. 70–77. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu2024.04.070 (фахове видання, категорія Б).</p> <p>2. Щербак Р. О., Шевельова А. Є., Ходанен Т. В. Використання методів машинного навчання для прогнозування довговічності елементів конструкцій // Проблеми обчислювальної механіки і міцності конструкцій. Том 1 № 35 (2022). – С. 94-94 https://doi.org/10.15421/4222218 (фахове видання, категорія Б).</p> <p>3. Лабібов Р. Р., Ходанен Т. В. Чисельне моделювання ліній локалізації в елементах конструкцій в умовах плинності. Український журнал будівництва та архітектури. 2025. № 2 (026). С. 67–74. DOI: https://doi.org/10.30838/UJCEA.2312.270425.67.1145 (фахове видання, категорія Б).</p>
5	Губін Олександр Ігорович (рецензент)	Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України. доцент кафедри аерогідромеха- ніки та енергомасопер- еносу	Кандидат технічних наук, 01.05.02 – математич- не моделюва- ння та обчислюв- альні методи, 2010 р.	Доцент кафедри аерогідромеха- ніки та енергомасопер- еносу, 2014 р	<p>1. Brazaluk O., Brazaluk. I., Gubin O. Mathematical modeling of thermal stabilization systems based on phase transitions. <i>System technologies</i>. 2022. Vol. 2, no. 139. P. 170–178. URL: https://doi.org/10.34185/1562-9945-2-139-2022-16. (фахове видання, категорія Б).</p> <p>2. А.Ю. Дреус, М.М. Дронь, О.І. Губін, Л.Г. Дубовик. Моделювання процесів аеродинамічного нагріву і плавлення космічних об'єктів в атмосфері землі. <i>System design and analysis of aerospace technique characteristics</i>. 2022. Т. 30, № 1. С. 20–34. URL: https://doi.org/10.15421/472203. (фахове видання, категорія Б).</p> <p>3. V. V. Biliaieva, O. I. Gubin, P. B. Mashykhina, A. Yu Usenko, L. O. Tymoshenko. Assessment of the energy facility impact on environmental pollution. <i>Ukrainian journal of civil engineering and architecture</i>. 2024. № 6 (018). С. 16–21. URL: https://doi.org/10.30838/j.bpsacea.2312.261223.16.1002. фахове видання, категорія Б).</p>

Результати голосування:

«За» – 11 осіб ,

«Проти» – немає,

«Утримались» – немає.

Голова наукового семінару

Секретар

Олександр ХАМІНІЧ

Олена КРАВЕЦЬ