

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Стрембовський Володимир, 1975 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2000 році Дніпропетровський національний університет імені Олеся Гончара, м. Дніпропетровськ за спеціальністю «Гідроаеродинаміка», навчається в аспірантурі Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України з 2021 р. до цього часу, виконав акредитовану освітньо-наукову програму «Прикладна математика».

Разова спеціалізована вчена рада, утворена наказом Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України від 02.07.2025 р. № 195, у складі:

Голови разової ради – Сергія Давидова, доктора технічних наук, професора, професора кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України;

Рецензентів – Тетяни Ходанен, кандидата фізико-математичних наук, доцента, доцента кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України; Олександра Губіна, кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України;

Офіційних опонентів – Сергія Хорошилова, доктора технічних наук, професора, старшого наукового співробітника, заступника директора з наукової роботи Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України;

Лариси Коряшкіної, доктора технічних наук, доцента, професора кафедри системного аналізу та управління Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України;

на засіданні «05» вересня 2025 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 11 Математика та статистика Володимир Стрембовському на підставі публічного захисту дисертації «Оптимізація траєкторій руху космічних об'єктів в атмосфері Землі за тепловим чинником» за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Дисертацію виконано у Дніпровському національному університеті імені Олеся Гончара, Міністерство освіти і науки України, Дніпро.

Науковий керівник – Андрій Дреус, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу Дніпровського

національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису із дотриманням вимог пункту 6 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 року № 44 (зі змінами), зокрема, вона містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які розв'язують наукове завдання створення гібридного обчислювального підходу для вибору оптимальних параметрів входу космічних об'єктів в атмосферу, що гарантує їх безпечне згоряння, що має істотне значення для галузі знань 11 Математика та статистика. Дисертація виконана державною мовою із дотриманням вимог до оформлення дисертації, встановлених МОН України. Обсяг основного тексту дисертації відповідає нормам, встановленим освітньо-науковою програмою «Прикладна математика» за спеціальністю 113 Прикладна математика Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара Міністерства освіти і науки України.

Здобувач має 4 наукові публікації за темою дисертації, зокрема 1 статтю – у науковому фаховому виданні категорії А, що індексується у наукометричній базі Scopus (квартиль Q4), 1 матеріал доповіді на International Astronautical Congress, опубліковані у зарубіжному періодичному науковому виданні, яке індексується у наукометричній базі Scopus та 2 статті у наукових фахових виданнях України (з них 2 у співавторстві), які відповідають вимогам пунктів 8, 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, зокрема:

1. Strembovskiy 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).

2. Strembovskiy V. V., Dreus A. Y. Аналіз 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).

3. A. Yu. DREUS, M. M. DRON, G. DUBOVIK, V. V. STREMBOVSKIY Assessment of the possibility of using polymers in the bodies of promising launch vehicles based on the heat resistance factor. *Kosmichna nauka i tehnologiya*. 2023. Vol. 29, no. 6. P. 03–12. URL: <https://doi.org/10.15407/knit2023.06.003>. (фахове видання, категорія А, Scopus, Q4).

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).*

У дискусії взяли участь голова і члени спеціалізованої вченої ради та присутні на захисті фахівці:

Голова спеціалізованої вченої ради Давидов С. О., доктор технічних наук (05.07.02 – проектування, виробництво та випробування літальних апаратів), професор, професор кафедри ракетно-космічних та інноваційних технологій, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара. Зауважень немає.

Офіційний опонент Хорошилов С. В., доктор технічних наук (05.13.03 – системи та процеси керування), професор, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи Інституту технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України. Зауваження:

1. У першому розділі представлено вичерпний огляд класичних та сучасних методів. Однак перехід до постановки власної задачі у другому розділі, на мій погляд, необхідно робити більш акцентованим. Варто було б чіткіше сформулювати, чому саме комбінація сучасних методів є недостатньою для вирішення поставленої оптимізаційної задачі. Доречно було б підкреслити, що пряме використання чисельних методів для розв'язання рівнянь руху в контурі генетичного алгоритму є обчислювально непомірно дорогим, що безпосередньо і обґрунтовує необхідність розробки швидкого сурогатного ML-апроксиматора.

2. Хоча алгоритм Transformer показав високу точність (коефіцієнт детермінації $R^2=0.97$), ці моделі часто є «чорними скриньками». У якості побажання, необхідно було б згадати про можливість застосування методів інтерпретованого машинного навчання (наприклад, SHAP або LIME) для аналізу того, які саме вихідні параметри (маса, кут, швидкість) мають найбільший вплив на прогнозований профіль теплового навантаження $q(t)$. Це б додало фізичної глибини результатам моделювання.

3. Результати генетичної оптимізації в п. 4.5 представлені для досить вузького діапазону мас (400-700 кг). Хоча вибір обґрунтовано статистичною поширеністю, варто було б у висновках чітко окреслити межі застосовності розроблених теплових карт і вказати на необхідність додаткових досліджень з метою визначення інших класів об'єктів (наприклад, малогабаритного сміття < 100 кг або великих ступенів > 1500 кг).

4. Щодо терміну «теплова карта» (стор. 120-121). Хоча цей термін є зрозумілим (калька з англ. "heatmap"), в українському науково-технічному середовищі більш поширеними є терміни «карта розподілу» або «діаграма розподілу». Можна залишити «теплова карта», але в першому вживанні дати пояснення в дужках.

5. По тексту дисертаційної роботи надмірно використовуються активні дієприкметники на -учий, -ючий (існуючий, оточуючий, виконуючий), що є характерним для російської мови. Приклад з тексту (Висновки, стор. 125):

«...на основі критичного аналізу існуючих математичних моделей...». Рекомендація: замінити на: «наявних» («...аналізу наявних математичних моделей...»), «сучасних» або «відомих» (залежно від контексту).

Офіційний опонент Коряшкіна Л. С., доктор технічних наук (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент, доцент кафедри системного аналізу та управління, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка». Зауваження:

1. Для кращого сприйняття математичної постановки задачі (2.1) – (2.3) доцільно було б записати її у такий спосіб: знайти такий кут $\hat{\theta}$, що $Q(\hat{\theta}) = \max_{\theta \in [0,3]} \int_0^{\tau} q(H(t), V(t), R_n, \theta) dt$ за умов... При цьому слід, по-перше, зазначити залежність (хоча б формально) правої частини рівності від параметра θ ; по-друге, навести формули, які описують динаміку змін функцій $H(t)$ та $V(t)$, якщо такі є, або вказати про їх відновлення за статистичними даними; по-третє, навести формулу (1.3), не відсилаючи читача до попереднього розділу. Вперше залежність теплового профілю q від параметра θ відображено лише на стор. 57.

2. Також не зрозуміло, чому в задачі (2.8), (2.9) у виразі (2.8) параметром функції Q^* є вектор $x = [\theta, V_0, H_0]$, а в системі обмежень (2.9) зазначена її залежність лише від θ .

3. На мій погляд, розділ 3 дещо перенасичений відомостями від розробників про компоненти, технічні характеристики й обчислювальні особливості обраних архітектур нейронних мереж, що відвертає увагу читача від викладу основного матеріалу роботи.

4. Мета роботи, сформульована у Вступі, і мета, зазначена як виконана у Висновках, дещо відрізняються, а саме: «інтегровану методика», можливо випадково, замінено «методологією». Хоча ці два поняття тісно пов'язані між собою, вони суттєво різняться широтою досліджень і практичної діяльності. Вважаю, що мета у Вступі коректніше відповідає змісту дисертації.

5. Список літературних джерел подано не в єдиному стилі. У посиланні на монографію [9] відсутні два перших автора: Голубек О.В., Дреус А.Ю., Ємець В.В., Пашков А.В. Системи відводу космічних об'єктів з низьких навколоземних орбіт: монографія. Дніпро: Ліра, 2019. 218 с.

Рецензент Ходанен Т.В., кандидат фізико-математичних наук (01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла), доцент, доцент кафедри теоретичної та комп'ютерної механіки, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара. Зауваження:

1. В п. 2.1.2 *Математична постановка задачі* із посиланням на джерело № 143 (Martin J. J. Atmospheric reentry: an introduction to its science and engineering. Englewood Cliffs, N.J : Prentice-Hall, 1966. 264 p.) зазначено «традиційні» вихідні дані та припущення для розрахунків. Зокрема, вказано діапазон початкової швидкості $V_0 \in [7.5, 8.5]$ км/с. Було б доречно на захисті коротко пояснити, від чого саме залежить вибір цього діапазону швидкостей, а також прокоментувати, наскільки наведені у джерелі параметри

залишаються актуальними в сучасних умовах і чи узгоджуються вони з сучасними даними щодо руху космічних об'єктів на низьких орбітах.

2. В п. 2.2.2 *Опис алгоритму розв'язання задачі* щодо формування навчального датасету з бази ESA DISCOS надано загальний і досить послідовний опис етапів очищення, обробки та побудови ознак. Разом із тим, варто було б конкретизувати, які саме показники агрегувалися для груп об'єктів (наприклад, за матеріалом, формою тощо), та наскільки одержані оптимальні гіперпараметри стабільні до зміни початкових умов або випадкових факторів.

3. В п. 4.1 *Процес навчання та техніки регуляризації* немає пояснень, чому обрано саме MSE як функцію втрат, а RMSE і R^2 – як метрики. Те саме стосується Glorot-Uniform ініціалізації та Adam-оптимізатора.

4. Робота не позбавлена технічних помилок, на кшталт: зменшеним розміром шрифту оформлено у списку використаної літератури джерела №№ 140-152, 155, 160-165, 167-174, 176-178, 183-184, 190, 192-194; в роботах №№ 146, 147, 184, 188-191, 193, 195 не зазначено рік видання або хоча б дату звернення; джерела №№ 166, 173-174, 180 містять лише URL-посилання, але не містять бібліографічного опису джерела; список публікацій автора у додатку А починається з № 5.

Рецензент Губін О.І., кандидат технічних наук (01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи), доцент, доцент кафедри аерогідромеханіки та енергомасопереносу, Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара. Зауваження:

1. У роботі використовується напівемпірична формула (1.3) для теплового потоку в точці гальмування. Це є сильним спрощенням моделі теплового потоку. Наскільки правомірно екстраполювати висновки, зроблені для однієї точки, на процес термічної деструкції всього об'єкта, особливо враховуючи його складну геометрію та неконтрольоване обертання під час входу в атмосферу?

2. В дисертаційному дослідженні оптимізується інтегральне тепло, що є непрямим критерієм руйнування. Логічним наступним кроком було б розглянути процеси абляції, що дозволило б оптимізувати не просто тепловий потік, а безпосередньо ступінь руйнування об'єкта.

3. У моделі аеродинамічного нагріву не розглядається радіаційна складова теплового потоку q_{srad} (формула 1.4). Наскільки це впливає на фінальну температуру поверхні та інтегральне теплове навантаження, особливо на пологих траєкторіях, де час нагріву є великим?

4. Робота не позбавлена технічних помилок, одруків та русизмів, на кшталт:

- у Додатку А нумерація публікацій починається з №5. Це виглядає як технічна помилка, яку варто виправити;
- (Вступ, стор. 12): «Використання моделей аеродинамічного нагріву, оптимального керування, машинного навчання та генетичного оптимізації дозволяє створює новий

високоєфективний підхід для проєктування новітніх активних і комбінованих методів та технологій відведення космічного сміття.»;
- (Висновки, стор. 125): «...що дозволило застосувати її **в якості** сурогата у процесі оптимізації.» рекомендую замінити на стилістично правильні українські відповідники «**як**» або «**в ролі**». Виправлений варіант: «...що дозволило застосувати її **як** сурогат у процесі оптимізації.».

Результати відкритого голосування:

«За» - 5 членів ради,

«Проти»- немає.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує Володимиру Стрембовському ступінь доктора філософії з галузі знань 11 Математика та статистика за спеціальністю 113 Прикладна математика.

Голова разової спеціалізованої
вченої ради



Сергій ДАВИДОВ